

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК**  
**ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**

**Вып. 2(95)**      **Серия: Строительство и архитектура**      **2024**  
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

<b>Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Меньяйлова Р. А., Шестаков А. В.</b> Исследование эффективности применения легких стальных тонкостенных конструкций в строительстве зданий средней этажности	6
<b>Габоева В. В., Поляков В. Г., Савенкова В. П., Засадченко И. А.</b> Исследование и повышение эффективности защитных строительных конструкций на автомобильной заправочной станции	14
<b>Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Карапузова Н. Ю., Татаркин А. В.</b> К вопросу о региональных инженерно-геологических особенностях просадочных грунтов при гидротехническом и мелиоративном строительстве	24
<b>Степанов М. А., Бартоломей Л. А.</b> Актуальность геотехнического сопровождения в вопросе восстановления работоспособного состояния жилого дома при развитии неравномерных осадок	34
<b>Харин Ю. И., Махова С. И.</b> Оптимальные варианты применения свайных фундаментов в Волгограде	45

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

<b>Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Лескина Л. М., Глазунов И. И.</b> Производство асфальтогранулобетона на АБЗ	54
<b>Вилкова И. М., Витолин С. В., Волков В. С., Девятков М. М., Сидоренко А. В., Шевченко И. Н.</b> Формирование обоснованного информационно-эстетического и технологического воздействия на участников дорожного движения и методы такого воздействия на Нулевой Продольной магистрали в Волгограде	65

<b>Петров В. А., Тлявлиня Г. В.</b> Расчет волногасящего песчаного пляжа как защитного сооружения для объектов транспортной инфраструктуры	79
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
<b>Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С.</b> Анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга	90
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
<b>Акчурина Т. К., Бондарев А. Б., Стурова В. А., Колобанов А. С., Жидков В. К., Бурлаченко О. В.</b> Переходные плиты из сталешлакофибробетона в конструкциях мостовых сооружений	99
<b>Акчурина Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П.</b> Оптимизация режима обжига гидроксида магния и получение минерального вяжущего на его основе	109
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
<b>Легкий А. Д., Стефаненко И. В., Карпузова Н. Ю., Обиднов И. А.</b> Создание метода отчистки динамического каталитического дожигателя	118
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
<b>Вурдова Н. Г.</b> Исследование применения дисперсных кремнеземов для сорбционной очистки сточных вод	126
<b>Вурдова Н. Г., Абуова Г. Б., Боронина Л. В., Захаров С. С., Радченко О. П., Фролов М. А.</b> Исследование характеристик гетероповерхностных композиционных сорбентов на основе вторичного сырья	133
<b>Морозов С. А., Бутко Д. А.</b> Расчет сверхмалых канализационных очистных сооружений по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ, сравнение результатов с проектным расчетом и эксплуатационными характеристиками	142
<b>Тихонова А. А., Владимцева И. В., Дементьева А. А., Катехлиев М. А.</b> Комплексный подход к снижению негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод с использованием метода кавитации низкой интенсивности	153
<b>Тихонова А. А., Владимцева И. В., Харланов Н. В., Соколов М. В.</b> Управление обращением с иловыми осадками для обеспечения экологической безопасности городского хозяйства: основные проблемы и пути решения	165
<b>Юрьев Ю. Ю., Жиборкин Д. А., Жумаев С. Ю., Куцуба А. А., Самарцев В. Д., Тулякова Е. В.</b> Использование отходов синтетических полимеров для очистки сточных вод	173
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА	
<b>Клименко И. В.</b> Особенности формирования и перспективы развития прибрежных пространств крупнейших городов Поволжья	180
<b>Курбатов В. В., Стрекалов С. Д.</b> Исследование экологии воздушной среды в прибрежной зоне города Волгограда	192
<b>Сидельникова О. П.</b> Современные подходы обеспечения радонобезопасности зданий	200
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА	
<b>Птичникова Г. А., Антюфеева О. А.</b> Общественные пространства российских городов XXI века: переформатирование	208
<b>Ястребова Н. А., Романова В. В.</b> Принципы преобразования индустриальных территорий города под жилую застройку	218
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
<b>Кольшев Ю. Б., Шевчук И. В., Виноградов Т. В., Доказов-Высоцкий Я. В.</b> Архитектурно-художественные решения при проектировании дошкольных образовательных организаций	228
<b>Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Казакова А. В.</b> Проблемы проектирования игрового пространства в современных детских центрах	236
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
<b>Расулова З. М. кызы</b> Следы традиции средневекового декора в современной азербайджанской архитектуре (на примере города Баку)	247

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

**Растяпина О. А., Маркосян Г. Х.** Современные направления энергоэффективных градостроительных решений 258

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

**Николаев Ю. Н., Гуцина Ю. В., Амельченко Н. С., Тулупова С. Д.** Оценка организационно-технологической надежности строительного производства с использованием компьютерных генераторов случайных чисел 269

**От редколлегии** 279

---

C o n t e n t

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

- Burlachenko O. V., Chebanova S. A., Menyailova R. A., Shestakov A. V.** The investigation of the light thin-walled steel structures use effectiveness in the construction of medium-rise buildings 6
- Gabova V. V., Polyakov V. G., Savenkova V. P., Zasadchenko I. A.** Research and improvement of the efficiency of protective building structures at a car fueling station 14
- Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Karapuzova N. Yu., Tatarkin A. V.** On the question of regional engineering-geological features of compliance soils during hydrotechnical and reclamation construction 24
- Stepanov M. A., Bartolomey L. A.** Actuality of geotechnical survey in the matter of working condition recovery of the building with the development of uneven settlement 34
- Kharin Yu. I., Makhova S. I.** Optimal options for the use of pile foundations in Volgograd 45

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

- Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Leskina L. M., Glazunov I. I.** Production of reclaimed asphalt concrete at a plant 54
- Vilkova I. M., Vitolin S. V., Volkov V. S., Devyatov M. M., Sidorenko A. V., Shevchenko I. N.** Formation of a reasonable informational, aesthetic and technological impact on road users and methods of such impact on the 0th Longitudinal highway in Volgograd 65
- Petrov V. A., Tlyavlina G. V.** Calculation of a wave-extinguishing sandy beach as a protective structure for transport infrastructure facilities 79

STRUCTURAL MECHANICS

- Gabova V. V., Bykoderov M. V., Kashina E. S.** Analysis of mutual influence of a multi-storey residential building and a nearby autoparking underground 90

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

- Akchurin T. K., Bondarev A. B., Sturova V. A., Kolobanov A. S., Zhidkov V. K., Burlachenko O. V.** Transition plates from steel slag fiber concrete in bridge structures 99
- Akchurin T. K., Savchenko A. V., Gubarevich G. P.** Optimization of magnesium hydroxide firming mode and production of mineral binder based on it 109

HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION

- Legkii A. D., Stefanenko I. V., Karapuzova N. Yu., Obidnov I. A.** Development of a cleaning method for a dynamic catalytic converter 118

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

- Vurdova N. G.** Research on the use of dispersed silica for sorption wastewater treatment 126
- Vurdova N. G., Abuova G. B., Boronina L. V., Zakharov S. S., Radchenko O. P., Frolov M. A.** Study of characteristics of heterosurface composite sorbents on the basis of secondary raw materials 133
- Morozov S. A., Butko D. A.** Calculation of ultra-small sewage treatment plants according to the methodology of the VODGEO/SamGTU Research Institute, comparison of the results with the design calculation and operational characteristics 142
- Tikhonova A. A., Vladimtseva I. V., Dementieva A. A., Katehliev M. A.** An integrated approach to reducing the negative impact on the environment during the operation of biological wastewater treatment facilities using the low-intensity cavitation method 153
- Tikhonova A. A., Vladimtseva I. V., Kharlanov N. V., Sokolov M. V.** Management of sludge management to ensure the environmental safety of the urban economy: the main problems and solutions 165
- Yur'ev Yu. Yu., Zhiborkin D. A., Zhumaev S. Yu., Kutsuba A. A., Samartsev V. D., Tulyakova E. V.** Use of waste synthetic polymers for wastewater treatment 173

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Klimenko I. V.** Features of formation and prospects of development of coastal spaces of the largest cities of the Volga region 180
- Kurbatov V. V., Strekalov S. D.** Air ecology study in the coastal zone of Volgograd 192
- Sidelnikova O. P.** Modern approaches to ensuring radon safety of buildings 200

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

- Ptichnikova G. A., Antyufeeva O. A.** Public spaces of Russian cities of the XXI century: reforming 208  
**Yastrebova N. A., Romanova V. V.** Principles of transformation of abandoned industrial areas for residential development in the structure of a modern city 218

GENERAL ARCHITECTURE

- Kolyshv Yu. B., Shevchuk I. V., Vinogradov T. V., Dokazov-Vysotsky Ya. V.** Architectural and artistic solutions in the design of preschool educational institutions 228  
**Matovnikova N. G., Samoylenko P. V., Kazakova A. V.** Problems of designing play space in modern children's centers 236

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

- Rasulova Z. M. kyzy** Traces of medieval decoration tradition in modern Azerbaijani architecture (on the example of Baku city) 247

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

- Rastyapina O. A., Markosyan G. H.** Modern directions of energy-efficient urban planning solutions 258

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Nikolaev Yu. N., Gushchina J. V., Amelchenko N. S., Tulupova S. D.** Assessment of the organizational and technological reliability of construction production using computer random number generators 269  
**From Editorial Team** 279

УДК 69.002.05

**О. В. Бурлаченко, С. А. Чебанова, Р. А. Меняйлова, А. В. Шестаков**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ СРЕДНЕЙ ЭТАЖНОСТИ**

В данном исследовании предлагается анализ рассмотренной методологической базы с учетом обзора существующих проектов по строительству зданий с применением легких стальных тонкостенных конструкций, реализуемых в России. Приводятся результаты сравнительного экономического анализа применения легких стальных тонкостенных конструкций и стандартных материалов в зависимости от таких параметров, как срок строительства и стоимость. Определена возможная технико-экономическая эффективность применения данной технологии. Представлены рекомендации по совершенствованию применения данной технологии и пути ее дальнейшего развития.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** легкие стальные тонкостенные конструкции, календарный план, скоростное строительство, срок, стоимость и трудоемкость строительства, каркас здания, технико-экономические показатели.

### **Введение**

Строительство зданий из легких металлоконструкций становится все более актуальным в современном мире. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) — это современный подход к строительству, который позволяет возводить здания и сооружения с минимальными затратами времени и ресурсов. Основные подходы применения ЛСТК включают в себя использование:

- легких стальных профилей вместо традиционных массивных бетонных или кирпичных конструкций. Это позволяет снизить массу здания, уменьшить нагрузку на фундамент и сократить сроки строительства;
- современных технологий и материалов, таких как сэндвич-панели, которые обеспечивают высокую тепло- и звукоизоляцию зданий;
- автоматизированных систем проектирования и производства, что ускоряет процесс создания проекта и снижает вероятность ошибок.

В целом применение ЛСТК значительно ускоряет процесс строительства, снижает затраты на материалы и уменьшает воздействие на окружающую среду. Эта технология имеет ряд преимуществ перед традиционными методами строительства, такими как использование тяжелых бетонных конструкций или кирпичной кладки.

### **Основная часть**

Строительство зданий из легких металлоконструкций является актуальным и перспективным направлением, которое предлагает ряд преимуществ в области эффективности, скорости, гибкости и экологичности строительства [1—4].

Анализ работ [1, 5—7] показывает, что в Российской Федерации доля ЛСТК в строительстве каркасных зданий занимает последние места и только начинает свою интеграцию. Цифры, взятые из анализа данных [8], представ-

лены в виде гистограмм сравнения на рис. 1, 2. Это обусловлено отсутствием адекватной нормативной базы, свойствами материалов, особенностями логистики и прочими, на данный момент не выполняемыми критериями, однако начало данная технология в нашей стране получила сравнительно недавно и стремительно развивается.

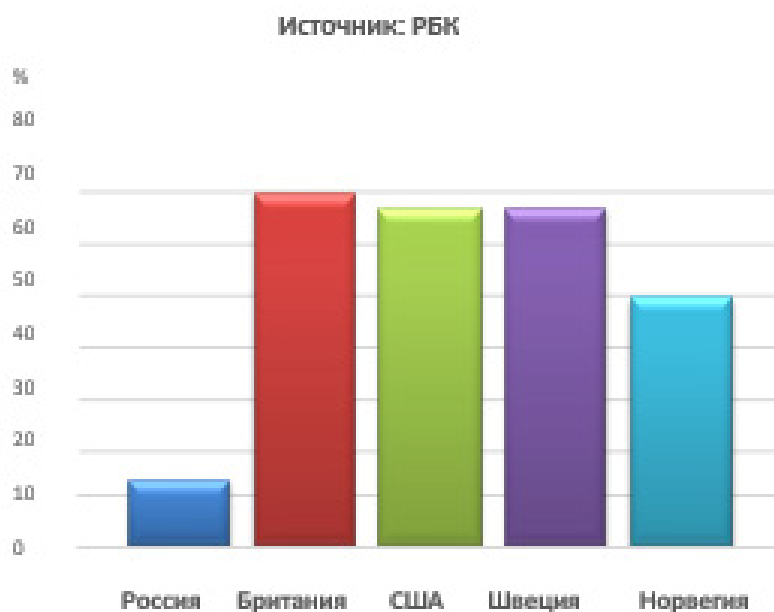


Рис. 1. Доля строительства многоэтажных жилых и общественных зданий на основе металлокаркаса из гнутых профилей, РБК



Рис. 2. Доля строительства многоэтажных жилых и общественных зданий на основе металлокаркаса из гнутых профилей, отраслевые оценки

Не должно остаться без внимания то, что данная технология относится к технологиям скоростного строительства. Скоростное строительство — это технология возведения зданий и сооружений, подразумевающая максимально эффективное использование времени и ресурсов для ускорения процесса строительства. Скоростное строительство включает в себя ряд мер и подходов, направленных на оптимизацию каждого этапа — от проектирования до сдачи объекта в эксплуатацию.

Отличительный и современный подход к применению ЛСТК в качестве основных конструкций в России иллюстрирует планируемый к строительству жилой комплекс «Победа», расположенный в Волгоградской области. Решения по генеральному плану можно видеть на рис. 3 [9].

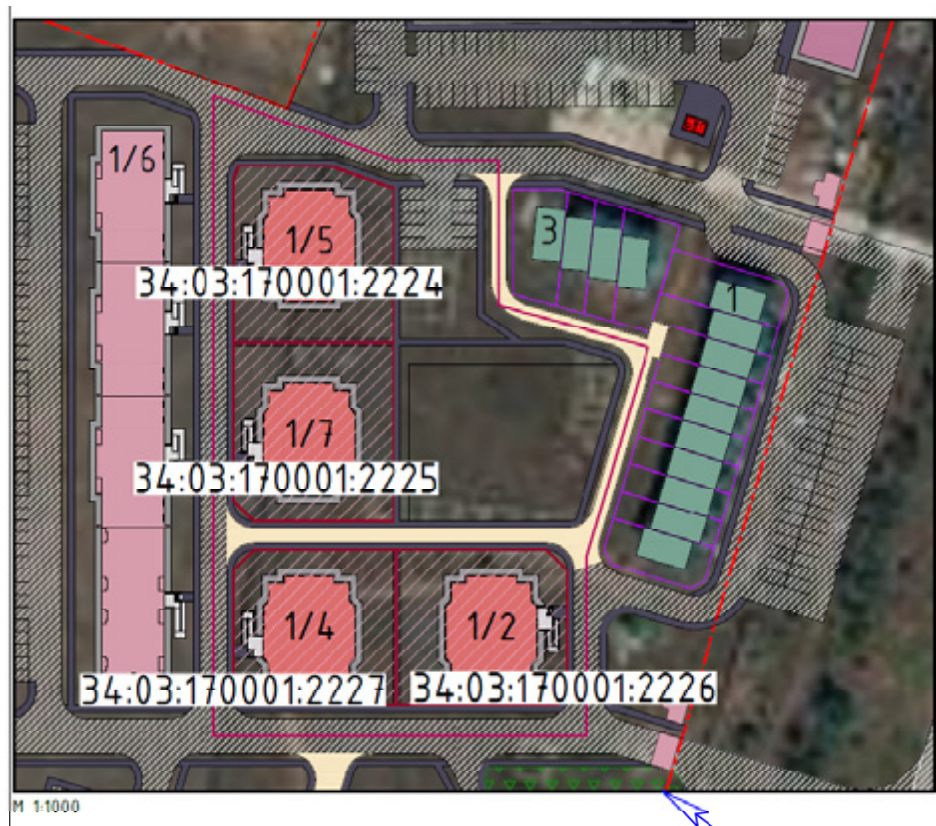


Рис. 3. Фрагмент генплана ЖК «Победа»

Авторами работы [9] детально уточнены и предложены современные технологические решения строительно-монтажных работ с применением ЛСТК, а также выявлены недостатки и достоинства ЛСТК-элементов на основании действующего проекта строительства современного многоквартирного малоэтажного жилого комплекса.

Односекционный жилой дом имеет три этажа и выполнен в виде прямоугольника с центральной частью, выступающей на фасаде в виде ризалитов. На главном и дворовом фасадах здания ризалиты расположены симметрично



по центру и имеют скошенные углы  $45^\circ$ , что добавляет выразительности пластическому рисунку фасадов.

Отличительной особенностью применения ЛСТК является возможность создания уникальных форм зданий любой сложности. Это является одновременно и достоинством, и недостатком из-за отсутствия поточного производства элементов, что увеличивает срок поставки ЛСТК-конструкций. Однако невзирая на данный факт, общий срок строительства по сравнению с аналогичными ЖК «Победа» зданиями, возведенными с применением кирпича или монолитного железобетона много меньше [2, 9—11].

По результатам методического и методологического анализа для подтверждения оптимальности предлагаемой технологии использования ЛСТК в качестве конструкции каркаса, в т. ч. при строительстве социального жилья, проводится апробация данного способа на здании-аналоге с бескаркасной конструктивной системой с несущими стенами из силикатного и керамического кирпича [12, 13].

На основании проведенных сравнительных расчетов тривиального способа возведения здания из стандартных конструкций и здания с применением ЛСТК авторами получены результаты, отражающие разницу технологий и преимущества применения ЛСТК в качестве каркасов зданий.

Объектом исследования стало трехэтажное жилое здание на 21 квартиру в ЖК «Победа» (рис. 4—6), расположенное в г. Волгограде. Расчетно-конструктивные особенности приняты согласно действующему ПОС. Все работы производились поточным методом в 2 смены.



Рис. 4. Здание  $1043,3 \text{ м}^2$ , выбранное в качестве объекта исследования

Технико-экономические показатели составляются, исходя из данных ПОС по строительству в ЖК «Победа» и по подготовленному календарному плану на строительство здания-аналога с применением кирпича.



Рис. 5. Фотография объекта с площадки строительства из ЛСТК профилей ЖК «Победа», Волгоград, 2023 г.



Рис. 6. Фотография объекта с площадки строительства ЖК «Победа», Волгоград, 2023 г.

Формулы, применяемые при подготовке технико-экономических показателей:

$$q = \frac{Q_{об}}{Q}, \quad (1)$$

где  $Q$  — строительный объем здания,  $m^3$ ;  $Q_{об}$  — общая трудоемкость работ по объекту, чел.-дней.

$$K_n = \frac{N_{\max}}{N_{\text{cp}}}, \quad (2)$$

$$N_{\text{cp}} = \frac{Q_{\text{об}}}{T_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где  $K_n$  — коэффициент неравномерности движения рабочей силы;  $N_{\max}$  — максимальное количество рабочих в самую нагруженную смену;  $N_{\text{cp}}$  — среднее количество рабочих в смену за весь период строительства;  $T_{\text{пр}}$  — продолжительность строительства объекта, дней.

### Заключение

На основании проведенного анализа установлена эффективность и перспективность применения ЛСТК-зданий ввиду преимуществ по следующим параметрам:

- срок строительства ЛСТК-здания меньше срока для стандартного кирпичного дома аналогичной формы на 49,07 %;
- общая стоимость проведения строительно-монтажных работ ЛСТК-здания меньше на 32,8 %;
- общая трудоемкость сокращается на 28,51 %.

Таким образом, доказана эффективность применения ЛСТК в качестве каркаса здания по технико-экономическим показателям. Важно отметить, что существует множество вариаций для дальнейшего изучения и совершенствования организационно-технологических решений строительства зданий с применением ЛСТК с целью поиска оптимального и универсального решения строительства, а также повышения технико-экономической эффективности создания жилья социального назначения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Shukhardin A., Nefedov G.* Gravit Fire Simulation of Light Gauge Steel Frame Wall System with Foam Concrete Filling // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies. 2018. Pp. 836—844.
2. *Kim T. S., Kuwamura H.* Finite element modeling of bolted connections in thin-walled stainless steel plates under static shear // Thin-Walled Structures. 2007. Vol. 45. Iss. 4. Pp. 407—42.
3. *Zhou X., Li G.* A macro-element based practical model for seismic analysis of steel-concrete composite high-rise buildings // Engineering Structures. 2013. Vol. 49. Pp. 91—103.
4. *Celikog M., Naimi S.* Building construction in North Cyprus: Problems and Alternatives Solutions // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 2269—2275.
5. *Айрумян Э. Л., Каменщиков Н. И., Липленко М. А.* Перспективы ЛСТК в России // Стройпрофиль. 2013. № 10. С. 12.
6. *Жмарин Е. Н., Рыбаков В. А.* ЛСТК — инструмент для реализации программы «Доступное и комфортное жилье» // Стройпрофиль. 2007. № 7(61). С. 118—119.
7. *Советников Д. О., Виденков Н. В., Трубина Д. А.* Легкие стальные тонкостенные конструкции в многоэтажном строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3(30). С. 153—165.
8. *Chebanova S. A., Polyakov V. G., Azarov A. V.* Designing of organizational and technological solutions for construction in constrained urban environments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019. Vol. 687. Pp. 044004.
9. *Поляков В. Г., Чебанова С. А., Шестаков А. В.* Перспектива применения легких стальных тонкостенных конструкций в Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 33—42.

10. *Burlachenko O. V., Zlobin V. N., Burlachenko A. O.* Technical Support for the Health of the Reducers of Construction Machines on the Basis of Application Device for the Application of Hard Coatings // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 945. Pp. 724—728.

11. *Kaklauskas A., Naimaviciene J., Krutinis M., Zavadskas E. K.* Model for a complex analysis of intelligent built environment // *Automation in construction*. 2010. Vol. 19. Iss. 3. Pp. 326—340.

12. Bearing capacity of rafter systems made of steel thin-walled structures in attic roofs / V. A. Rybakov, M. Al Ali, A. P. Panteleev, K. A. Fedotova, A. V. Smirnov // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. Vol. 8. Iss. 76. Pp. 28—39.

13. *Chen Ju., Young B.* Cold-formed steel lipped channel columns at elevated temperatures // *Engineering Structures*. 2007. Vol. 29. Iss. 10. Pp. 1161—1174.

© Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Меняйлова Р. А., Шестаков А. В., 2024

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Меняйлова Р. А., Шестаков А. В.* Исследование эффективности применения легких стальных тонкостенных конструкций в строительстве зданий средней этажности // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 2(95). С. 6—13. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_6.

*Об авторах:*

**Бурлаченко Олег Васильевич** — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, зам. директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

**Чебанова Светлана Александровна** — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sveta\_nes@mail.ru

**Меняйлова Регина Анатольевна** — канд. экон. наук, доц. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; menyailova@gmail.com

**Шестаков Андрей Викторович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

***Oleg V. Burlachenko, Svetlana A. Chebanova, Regina A. Menyailova,  
Andrey V. Shestakov***

***Volgograd State Technical University***

## **THE INVESTIGATION OF THE LIGHT THIN-WALLED STEEL STRUCTURES USE EFFECTIVENESS IN THE CONSTRUCTION OF MEDIUM-RISE BUILDINGS**

This study offers an analysis of the considered methodological base, taking into account a review of existing projects in our country for the construction of buildings using light steel thin-walled structures. The results of light steel thin-walled and standard materials use comparative economic analysis, depending on parameters such as construction time and cost, are also presented. The possible technical and economic efficiency of this technology application has been determined. The paper also highlights recommendations for improving the use of this technology and ways to further develop this area.

**Key words:** light steel thin-walled structures, calendar plan, high-speed construction, time, cost and labor intensity of construction, building frame, technical and economic indicators.

*For citation:*

Burlachenko O. V., Chebanova S. A., Menyailova R. A., Shestakov A. V. [The investigation of the light thin-walled steel structures use effectiveness in the construction of medium-rise 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], 2024, iss. 2, pp. 6—13. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_6.

*About authors:*

**Oleg V. Burlachenko** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

**Svetlana A. Chebanova** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sveta\_nes@mail.ru

**Regina A. Menyailova** — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; menyailova@gmail.com

**Andrey V. Shestakov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 699.814

**В. В. Габова, В. Г. Поляков, В. П. Саенкова, И. А. Засадченко**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОЙ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ**

Рассматриваются защитные конструкции автомобильных заправочных станций, обеспечивающие преграждающую способность для ограничения распространения пожара. Перечислены виды противопожарных преград. Рассмотрена огнестойкость бетона и стали.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, монолитные стены, виды противопожарных преград, классификации противопожарных стен, огнестойкость железобетонных конструкций, монолитный железобетон, защитные конструкции, пожарная опасность.

Тема исследования и повышения эффективности защитных строительных конструкций на автомобильных заправочных станциях (АЗС) является важной и актуальной, поскольку на этих производственных объектах существует большое количество факторов, приводящих к аварийным ситуациям и материальному ущербу.

АЗС играют важную роль в обеспечении автотранспорта топливом. Они представляют собой сложные инженерные сооружения, оснащенные автоматизированными системами обеспечения технологического процесса, хранения топлива, а также системами пожаротушения и эвакуации людей [1, 2].

В настоящее время много внимания уделяется замене жидкого моторного топлива (бензин и дизельное топливо) на альтернативные виды, такие как сжиженный природный и сжиженный углеводородный газы. Это связано с экономическими и экологическими проблемами, возникающими из-за увеличения числа машин.

Более того, как показала практика, АЗС, работающие на жидком топливе, по-прежнему представляют повышенную опасность возникновения пожаров и взрывов. Это связано с большими объемами хранения взрывопожароопасного автомобильного топлива, а также особенностями технологических процессов приема, хранения и выдачи. Множество АЗС расположено в городах и других населенных пунктах, поэтому возможные аварии являются серьезной угрозой для населения и окружающих объектов. Вместе с тем окружающие объекты могут оказывать недопустимое воздействие на АЗС, что может привести к возникновению пожаров и взрывов [3].

Пожарная опасность указанных объектов определяется большим количеством оборудования под давлением, в котором обращаются горючие газы и жидкости [4].

Согласно п. 4.7 СНБ 2.02.01—98<sup>1</sup> устанавливаются следующие виды противопожарных преград:

---

<sup>1</sup> СНБ 2.02.01-98. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов. URL: <https://stroystandart.info/index.php?name=files&op=view&id=2921>.

- противопожарные стены;
- противопожарные перегородки;
- противопожарные перекрытия;
- противопожарные пояса (табл. 1).

Таблица 1

*Типы противопожарных преград*

Наименование противопожарных преград	Тип противопожарных преград	Предел огнестойкости противопожарных преград	Тип заполнения проемов в противопожарных преградах	Тип тамбуршлюза
Стены	1	REI 150	—	1
	2	REI 45	2	2
Перегородки	1	EI 45	2	1
	2	EI 15	3	2
Перекрытия	1	REI 150	—	1
	2	REI 60	2	1
	3	REI 45	2	1
	4	REI 15	3	2

Противопожарная стена — стена, имеющая специальные конструктивные решения, обеспечивающие преграждающую способность для ограничения распространения пожара<sup>2</sup> [5, 6]. Классификация противопожарных стен:

1. По типам:

- 1-го типа с пределом огнестойкости не менее REI 150;
- 2-го типа с пределом огнестойкости не менее REI 45.

2. По размещению в зданиях:

- внутренние;
- наружные.

*Внутренние* противопожарные стены предназначаются для предотвращения распространения пожара из одного пожарного отсека в другой внутри здания, а *наружные* — между зданиями. Наружные противопожарные стены, как правило, применяют в тех случаях, когда расстояние между зданиями или сооружениями не соответствует требованиям пожарной безопасности.

В условиях пожара предел огнестойкости железобетонных конструкций наступает обычно за счет снижения прочности бетона при нагреве, теплового расширения и температурной ползучести арматуры, возникновения сквозных отверстий или трещин в сечениях конструкций, а также в результате утраты теплоизолирующей способности [7, 8].

В результате сочетания высокой прочности, функциональности, долговечности и низких затрат на техническое обслуживание бетон является наиболее распространенным строительным материалом. Для взрывоустойчивых конструкций наилучший выбор — железобетон, который также широко используется в строительстве.

Качественный и хорошо армированный сталью бетон, особенно с достаточной массой, лучше других материалов предотвращает перфорацию и катастрофическое разрушение конструкции при воздействии взрывной нагрузки.

<sup>2</sup> НПБ 111—98\*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000020>.

В основе определения огнестойкости железобетонных конструкций лежат параметры:

- тип арматуры;
- диапазон эксплуатационных нагрузок;
- геометрические показатели конструкции;
- использование и толщина защитных слоев;
- категория влажности бетона.

На устойчивость конструкций влияют состав материала, размеры сечения и содержание арматуры. Как правило, чем больше толщина преграды, тем выше предел огнестойкости. На рисунке 1 показана зависимость огнестойкости материала от толщины конструкции и длительности пожара.

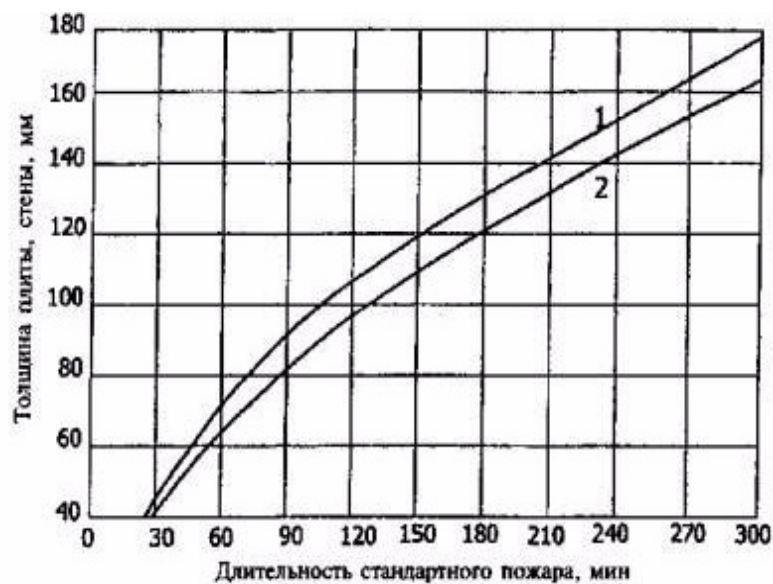


Рис. 1. Огнестойкость бетона

Минимальные требования к огнестойкости применимы к изгибаемым железобетонным элементам, покрытым тонким слоем бетона. Арматура становится подвержена тепловой деформации и последующему разрушению при воздействии высоких температур и открытого пламени.

Для идентификации предела огнестойкости строительных конструкций используется табл. 2 фактических показателей.

Критические показатели незащищенных стальных конструкций находятся в диапазоне R10...R15, а алюминиевых — R6...R8. Предел для колонн массивного сплошного сечения — R45. Незащищенные металлические конструкции допустимо применять при показателях R15 (RE15, REI15).

У незащищенного металла из-за высокой теплопроводности и низкой теплоемкости внутренняя температура быстро достигает критических значений, что влечет за собой уменьшение общей прочности и устойчивости к нагрузкам (рис. 2).

Показатели критической температуры прогрева металлических конструкций при нормативной эксплуатационной нагрузке приведены в табл. 3.



При необходимости поднять предел огнестойкости свыше R15 используют облицовку металла несгораемыми материалами, а также нанесение защитных покрытий [9].

Таблица 2

*Огнестойкость строительных конструкций*

Вид бетона	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Приведенная толщина плиты $h_{ред}$ , мм, обеспечивающая по теплоизолирующей способности предел огнестойкости, мин							
		15	30	45	60	90	120	150	180
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород	2350	30	50	65	80	100	120	140	155
Мелкозернистый песчаный бетон	1900								
Тяжелый бетон с крупным заполнителем из карбонатных пород	2350	30	50	65	80	100	120	135	150
Легкий бетон с крупным заполнителем из керамзита	1600	25	40	53	65	80	95	105	115

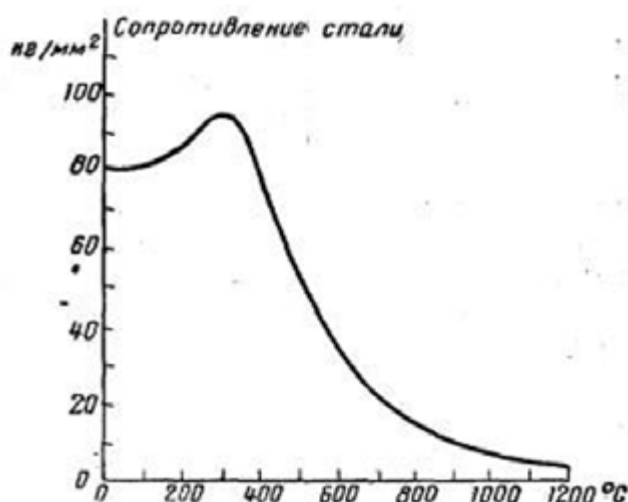


Рис. 2. Влияние температуры на механическую прочность стали

Таблица 3

*Показатели критической температуры прогрева металла*

Материал	Температура, °C
Углеродистая сталь Ст3-5	470
Низколегированная сталь 25Г2С	550
Низколегированная сталь 30ХГ2С	500
Сплав на основе алюминия АМг-6	225
Сплав на основе алюминия АВ-Т1Д1Т	250
Сплав на основе алюминия Д16ТВ922Т	165

В настоящее время монолитные железобетонные стены пользуются большим спросом и широко применяются при возведении различных зданий, как жилых, так и промышленных. Это связано с тем, что такой тип конструкции обеспечивает высокие показатели прочности, надежности и долговечности при относительно быстрой сборке и невысокой общей стоимости. Заливка монолитных железобетонных стен выполняется на месте строительства.

Стены из монолитного железобетона формируются в опалубке, которая может быть как съёмной, так и несъёмной. В процессе формовки стен в опалубке проводится армирование для повышения прочности конструкции, затем опалубка заполняется бетоном. Процесс выполняется поэтапно, обеспечивая непрерывность бетонирования и исключая возникновение швов.

Для ограждения АЗС, работающих со сжиженным газом, предусматриваются защитные экраны с целью сокращения расстояний и предотвращения выброса струи природного газа и разлета осколков при аварийной разгерметизации оборудования и его физическом разрушении в сторону защищаемого объекта в горизонтальном направлении.

Экран изготавливается из железобетона толщиной не менее 150 мм. Несущие конструкции экрана имеют предел огнестойкости не менее R45. Габариты экрана превышают габариты здания, сооружения и оборудования с КПП и/или СПГ (для которого этот экран предусматривается) не менее чем на 0,5 м во все стороны. При этом ширина защитного экрана, предусматриваемого для заправочного островка, превышает не менее чем на 0,5 м в обе стороны длину заправочного островка, а высота — не менее чем на 0,5 м высоту управляемых транспортных средств, предусматриваемых проектом АЗС.

Рассмотрим железобетонный защитный экран, находящийся на АГНКС Санкт-Петербурга. Участок работ расположен в Выборгском районе Санкт-Петербурга и входит в зону земель населенных пунктов. Земельный участок расположен в промышленной зоне, вдоль 3-го Верхнего переуллка. В соответствии с СП 131.13330.2020 рассматриваемая территория относится ко ПВ подрайону по климатическому районированию для строительства<sup>3</sup>. Санкт-Петербург, 3й Верхний пер. согласно Приложению И СП 11-105-97, часть III относится к участку I-A-1 (постоянно подтопленные в естественных условиях)<sup>4</sup>. Подтопление территории обусловлено относительно высоким положением уровня грунтовых вод. Сейсмичность района работ 5 баллов в соответствии со СП 14.13330.2018 и картами А, В, С ОСП-2016<sup>5</sup>.

Железобетонный защитный экран устанавливается из-за несоблюдения расстояния между газозаправочной колонкой и дизель-генератором. Нормируемое расстояние согласно табл. 6 СП 156.13130.2014 должно составлять не менее 35 м, фактическое расстояние на объекте — 14,4 м<sup>6</sup>. Высота сооружения — 1,7 м, ширина — 3,15 м. Заглубление фундамента осуществляется на глубину промерзания — 1,3 м.

<sup>3</sup> СП 131.13330.2020. Строительная климатология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358>.

<sup>4</sup> СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000255>.

<sup>5</sup> СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>.

<sup>6</sup> СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110842>.

Выполним сбор нагрузок [10]. Ветровая нагрузка рассчитана согласно СП 20.13330.2016<sup>7</sup>.

Эквивалентная высота  $ZE$  согласно п. 11.1.5 указанных СП для сооружений башенного типа —  $Z$ .

Тип местности в соответствии с п. 11.1.6 — А — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в т. ч. с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра.

Аэродинамические параметры в соответствии с п. 11.1.6 и табл. 11.3 для местности типа А:

$$\alpha = 0,15; k_{10} = 1,0; \zeta_{10} = 0,76.$$

Коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $H = 1,7$  м в соответствии с п. 11.1.6 и формулой 11.4:

$$K(Z) = 0,75.$$

Коэффициент пульсации давления ветра для высоты  $H = 1,7$  м в соответствии с п. 11.1.8 и формулой 1.6:

$$\zeta(Z) = 0,85.$$

Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления  $\nu$  в соответствии с п. 11.1.11:

$$\nu = 0,913.$$

Аэродинамический коэффициент лобового сопротивления  $C_x$  в соответствии с п. В.1.1 определяется по приложению В.

Аэродинамический коэффициент для участка А — 2,1.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки  $W_M$  в соответствии с п. 11.1.3 для принятых параметров:

$$W_M = W_0 C_x K(Z) = 0,3 \text{ кПа} \cdot 2,1 \cdot 0,75 = 0,473 \text{ кПа}.$$

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки  $W_G$  в соответствии с п. 11.1.8 для принятых параметров:

$$W_G = W_M \nu \zeta(Z) \xi = 0,473 \text{ кПа} \cdot 0,913 \cdot 0,85 \cdot 1,4 = 0,514 \text{ кПа}.$$

Нормативное значение ветровой нагрузки в соответствии с п. 11.1.2:

$$W_N = W_M + W_G = 0,473 \text{ кПа} + 0,514 \text{ кПа} = 0,987 \text{ тс/м}^2.$$

Расчетное значение ветровой нагрузки в соответствии с п. 11 принято с коэффициентом надежности по нагрузке 1,4:

$$W_D = W_N \gamma_F = 0,987 \text{ тс/м}^2 \cdot 1,4 = 1,382 \text{ кПа}.$$

*Определение опорных усилий конструкции (на 1 п. м) в плоскости действия максимального момента.*

Расчетный момент от ветровой нагрузки:

$$M_1 = \frac{qL^2}{2} = \frac{(W_D B)L^2}{2} = \frac{(1,382 \text{ кПа} \cdot 1 \text{ м}) \cdot 1,7^2 \text{ м}^2}{2} = 31,862 \text{ кНм}.$$

<sup>7</sup> СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>.

Момент от взрывной волны:

$$M_2 = 7,225 \text{ кНм};$$

общий

$$M_{\text{оп}} = 31,862 \text{ кНм} + 7,225 \text{ кНм} = 39,087 \text{ кНм}.$$

По таблице 2 серии 3.002.1-2, исходя из параметров изгибающего момента, получим марку защитного экрана — ПСМ 30.18-1, где тип стены — 1,  $H = 3000 \text{ мм}$ ,  $B = 1800 \text{ мм}$ ,  $h = 300 \text{ мм}$  (рис. 3).

В дальнейшем по таблице на листе 22 подбираем армирования для марки стены ПСМ 30.18-1. Железобетонная конструкция армируется пространственными сварными каркасами «КП», собираемыми из плоских арматурных сеток. Вся арматура принята класса А400 по ГОСТ 34028—2016<sup>8</sup>.

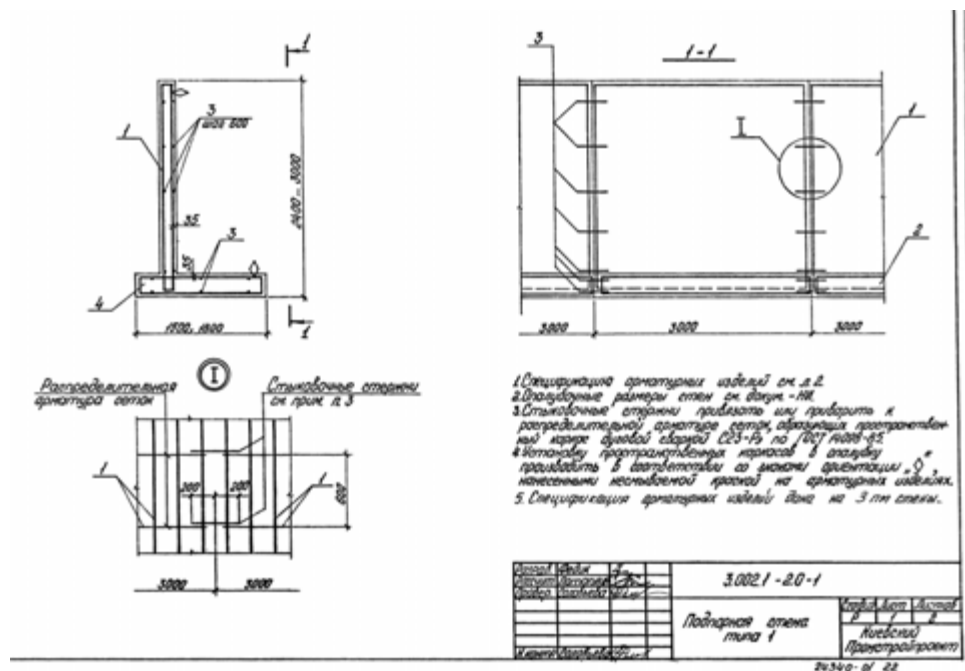


Рис. 3. Тип 1 железобетонной стены

Возможные способы повышения пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций представлены и классифицированы на рис. 4.

Один из эффективных методов увеличения огнестойкости железобетонных конструкций — защита бетона от разрушения в результате взрыва [11, 12]. Например, путем нанесения огнезащитной штукатурки можно достичь необходимого уровня огнестойкости в интервале от 0,75 до 2,5 ч. Напыляемые огнезащитные материалы на минеральной основе с использованием неорганического вяжущего благодаря своей высокой адгезии к поверхностям чаще всего применяются в форме цементно-перлитовых, цементно-

<sup>8</sup> ГОСТ 34028—2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144936>.

вермикулитовых, гипсоперлитовых или гипсовермикулитовых составов. В состав таких штукатурок могут входить вяжущие, пористые заполнители, волокнистые материалы, пластификаторы и др. Их эффективность повышается при снижении плотности материала, а нанесение производится полусухим торкретированием практически любой толщины при толщине одного слоя не более 15 мм.



Рис. 4. Способы повышения пределов огнестойкости железобетонных конструкций

Огнестойкость представляет собой международную пожарно-техническую характеристику, которая регламентируется строительными нормами и правилами и отражает способность конструкций выдерживать воздействие пожара. Обеспечение огнестойкости строительных конструкций и зданий в целом является основой системы противопожарной защиты зданий. Огнестойкость является ключевым элементом всей системы противопожарной защиты зданий, поскольку она определяет выбор других элементов защиты<sup>9</sup>[7].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буголовский Н. Р. Проектирование сети АЗС // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2015. № 3.
2. Мацкин Л. А., Меликов С. Г., Пичугин А. П., Ратмиров К. В. Автозаправочные станции Японии. М. : Недра, 1974. 93 с.
3. Анализ индивидуального риска пожаров и взрывов для автозаправочной станции с подземным резервуаром / Ю. Н. Шебеко, Д. М. Гордиенко, В. Л. Малкин, И. М. Смолин, В. А. Колосов, Е. В. Смирнов // Пожаровзрывобезопасность. 1999. Т. 8. № 3.
4. Обеспечение пожаровзрывобезопасности многотопливных автозаправочных станций / И. А. Болодьян, Ю. Н. Шебеко, В. Л. Малкин, Д. М. Гордиенко, И. М. Смолин, В. А. Колосов, Е. В. Смирнов // Автозаправочный комплекс. 2001. № 2. С. 42—47.
5. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М. : Спецтехника, 2001. 496 с.
6. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для слушателей и курсантов пожарно-технических образовательных учреждений МЧС России / В. Н. Демехин,

<sup>9</sup> РД 153-39.2-080-01. Правила технической эксплуатации автозаправочных станций. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026364>.

И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, Б. Б. Серков, А. Ю. Фролов, Е. Т. Шурин. М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. 656 с.

7. *Ильин Н. А.* Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. М. : Стройиздат, 1979. 128 с.

8. *Еналеев Р. Ш., Анаников С. В., Теляков Э. Ш., Гасилов В. С.* Огнестойкость бетона: критерии разрушения // *Фундаментальные исследования*. 2013. Т. 1. № 1. С. 139—142.

9. *Загоруйко М. В.* Разработка методов придания огнезащитных свойств и исследования термического воздействия на структуру и свойства материалов и пакетов одежды: дис... канд. техн. наук. М., 2011. 209 с.

10. *Габова В. В., Родионов А. В., Сиротенко О. О.* Исследование поведения конструкций высотных зданий при воздействии ветровых нагрузок // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. 2023. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 5(93) С. 5—17.

11. *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 кн. / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук, А. М. Александрова, Э. Н. Алехина.* М. : Химия, 1990. 496 с.

12. *Фомин В. И., Думилин А. И.* Автономные установки пожаротушения: основные показатели // *Противопожарные и аварийноспасательные средства*. 2005. № 3.

© *Габова В. В., Поляков В. Г., Савенкова В. П., Засадченко И. А., 2024*

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Габова В. В., Поляков В. Г., Савенкова В. П., Засадченко И. А.* Исследование и повышение эффективности защитных строительных конструкций на автомобильной заправочной станции // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 14—23. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_14.

*Об авторах:*

**Габова Виктория Викторовна** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

**Поляков Владимир Геннадиевич** — д-р экон. наук, проф., зав. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polyakovvg@vgasu.ru

**Савенкова Валерия Павловна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; 79047798804@mail.ru

**Засадченко Иван Александрович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ivan\_zasadchenko@bk.ru

***Viktoriya V. Gabova, Vladimir G. Polyakov, Valeria P. Savenkova,  
Ivan A. Zasadchenko***

***Volgograd State Technical University***

## **RESEARCH AND IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF PROTECTIVE BUILDING STRUCTURES AT A CAR FUELING STATION**

The article discusses the protective structures of gas stations that provide blocking capacity to limit the spread of fire. The types of fire barriers are listed. The fire resistance of concrete and steel is considered.

**Key words:** reinforced concrete structures, monolithic walls, types of fire barriers, classifications of fire walls, fire resistance of reinforced concrete structures, monolithic reinforced concrete, protective structures, fire hazard.

*For citation:*

Gabova V. V., Polyakov V. G., Savenkova V. P., Zasadchenko I. A. [Research and improvement of the efficiency of protective building structures at a car fueling station]. *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], 2024, iss. 2, pp. 14—23. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_14.

*About authors:*

**Viktoriya V. Gabova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

**Vladimir G. Polyakov** — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polyakovvg@vgasu.ru

**Valeria P. Savenkova** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; 79047798804@mail.ru

**Ivan A. Zasadchenko** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ivan\_zasadchenko@bk.ru

УДК 624.131.1: 624.131.22

**Ю. И. Олянский<sup>а</sup>, Е. В. Щекочихина<sup>а</sup>, Н. Ю. Карапузова<sup>а</sup>, А. В. Татаркин<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Пермский национальный исследовательский университет*

## **К ВОПРОСУ О РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ И МЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

На примере двух регионов распространения лессовых просадочных грунтов — Молдовы и Таджикистана, характеризующихся различными палеогеографическими условиями накопления мелкозема и его постгенетических преобразований вследствие проявления климатических факторов и условий залегания, показаны особенности оценки просадочных свойств грунтов оснований проектируемых гидротехнических и мелиоративных сооружений.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** лессовые грунты, просадочность, послепросадочное уплотнение, относительная просадочность, компрессионные испытания.

### **Геологическая характеристика, состав и физические свойства лессовых грунтов**

Просадочность является основным свойством лессовых грунтов, проявляющаяся в процессе их увлажнения, и требует особого внимания при гидротехническом строительстве и гидромелиорации земель. Лессовые отложения широко распространены в южной части Русской плиты от Карпат до Урала, а также на склонах и в долинах горных областей: Тянь-Шаня, Памира и др. Важнейшими условиями формирования просадочности лесса и ее сохранения в толще отложений являются особенности климата в период накопления осадка и его сохранения в толще пород, что обуславливает формирование недоуплотненности отложений и обеспечивает просадочность в постгенетический период.

В таблице 1 приведены метеоклиматические показатели в опорных пунктах двух описываемых регионов: Молдовы и Таджикистана. В целом главной климатической характеристикой этих территорий является недостаточное увлажнение. Причем коэффициент увлажнения территории Молдовы в 2...3 раза выше, чем для территории Таджикистана, оставаясь повсеместно менее 1. В соответствии с исследованиями Н. И. Кригера [1] данный факт является обязательным для формирования просадочности пылеватого материала, накопившегося различным способом.

История формирования рельефа и лессового покрова *Молдавского региона* началась в конце миоценовой эпохи, когда северная его часть освободилась от вод среднесарматского моря. В результате продолжающихся поднятий к концу верхнесарматского и меотического времени освободилась от морских вод также и центральная часть Днестровско-Прутского междуречья. Южная часть описываемой территории превратилась в сушу лишь в конце раннего плейстоцена [2].

Этапность в формировании суши определила длительность и глубину денудационных процессов для трех главных зон: северной центральной и южной. Такой характер неотектонических движений обусловил формирова-



ние лессового покрова региона. В его центральной части на водоразделах Кодринской возвышенности лессовый покров практически отсутствует. На крайнем юге мощность его превышает 40 м. В северной части региона, испытавшей поднятие на протяжении всего четвертичного периода, лессовый покров наиболее молодой, представлен толщиной  $Q_{3-4}$  элювиального и делювиального генезиса [3].

Т а б л и ц а 1

*Метеоклиматические показатели на объектах исследований*

Метеостанция	$t_{cp}, ^\circ C$	$A, мм$	$E_0, мм$	$K_{ув}$
Таджикистан				
г. Пяндж	15,9	300	1697	0,18
г. Яван	17,2	614	1825	0,35
г. Душанбе	14,2	595	1237	0,48
Молдова				
г. Бельцы	8,7	509	638	0,80
г. Кишинев	9,4	533	665	0,80
г. Комрат	9,7	489	676	0,72

*Примечание:*  $t_{cp}, ^\circ C$  — среднегодовая температура;  $A, мм$  — среднегодовое количество осадков;  $E_0, мм$  — испаряемость;  $K_{ув}$  — коэффициент увлажнения.

Особенностью гранулометрического состава лессовых пород по результатам микроагрегатного анализа является высокое содержание глинистой фракции — до 25,0...30,0 % на севере и низкое — 3,0...10,0 % на юге. Небольшое содержание пылеватых частиц 35,0...45,0 % — в северной и центральных частях и высокое содержание 60,0...70,0 % на юге региона обусловлено генезисом лессовой толщи. Минеральный состав дисперсной фракции представлен гидрослюдой и монтмориллонитом примерно в одинаковых количествах. Кроме этого встречаются: каолинит, гетит, галлузит в количестве не более 1,0...2,0 % [4, 5].

Геологические условия лессовых отложений *Таджикистана* представлены опорным разрезом Каратау, расположенным на водоразделе одноименного хребта в междуречье Вахш-Кафиринган. Мощность лессовой толщи эолового и делювиально-пролювиального генезиса превышает 90,0 м. Разрез представлен чередованием палево-желтых лессов и бурых ископаемых почв. По данным Е. Н. Сквалецкого [6] микроагрегатный состав лесса характеризуется содержанием пылевой фракции в количестве 84,0...93,0 % и глинистой — 3,0...11,0 %. Глинистая фракция состоит из гидрослюды 65,0...80,0 %, каолинита 10,0...25,0 %, хлорита — 5,0...15,0 %. Изредка встречается монтмориллонит в количестве 1,0...4,0 %. Обобщенные значения показателей физических свойств лессовых грунтов обоих регионов приведены в табл. 2.

Анализ представленных данных позволяет сделать следующие выводы. Лессовые отложения Таджикистана в целом по составу и свойствам существенно отличаются от лессовых отложений молдавского региона. Содержание пылевой фракции у первых повсеместно превышает 50 % и достигает значения 80,0...90,0 %, минеральный состав глинистой фракции преимущественно гидрослюдистый. Грунты более пористые и менее влажные, что приближает их к «истинно лессовым» грунтам [7].

Обобщенные показатели физико-механических свойств лессовых пород  $Q_3$  различного генезиса [2, 6]

Показатели	Таджикистан	Молдова	
	верхняя часть толщи	террасы	водоразделы
Плотность, г/см <sup>3</sup>	$\frac{1,48}{1,27-1,65}$	$\frac{1,66}{0,017}$ 201	$\frac{1,70}{0,14}$ 261
Влажность, д.е.	$\frac{0,07}{0,03-0,012}$	$\frac{0,13}{0,051}$ 201	$\frac{0,14}{0,028}$ 260
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	$\frac{1,38}{1,19-1,50}$	$\frac{1,42}{0,014}$ 88	$\frac{1,43}{0,012}$ 35
Пористость, %	$\frac{49}{45-56}$	$\frac{45,5}{3,1}$ 177	$\frac{44,7}{4,2}$ 263
Относительная просадочность при 0,3МПа	$\frac{0,050}{0,015-0,120}$	$\frac{0,033}{0,018}$ 97	$\frac{0,036}{0,019}$ 179

Примечание:  $\frac{0,050}{0,015-0,120}$  — в знаменателе «от и до», в числителе — среднее;

$\frac{1,43}{0,012}$  35 — в числителе среднее, в знаменателе — среднеквадратическое отклонение; справа — количество определений.

### Просадочность лессовых грунтов

При проектировании водохозяйственного строительства изучаются следующие характеристики просадочности грунтов оснований: величина относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  при различных нагрузках, начальное просадочное давление, изменение величины просадочности с глубиной и мощностью просадочной тощи. Относительная просадочность в соответствии с ГОСТ 23161—78 определяется в компрессионных приборах. Образец насыщается водой капиллярным способом, в нем происходит снижение структурной прочности и за короткое время развивается наибольшая деформация:

$$\varepsilon_{sl} = (h - h_{пр}) / h_0,$$

где  $h$  — высота образца природной влажности, обжатого в компрессионном приборе;  $h_{пр}$  — высота того же образца после замачивания при определенном давлении  $P$ ;  $h_0$  — высота образца природного сложения и влажности.

Компрессионные испытания выполняются при нагрузках  $P$  равных 0,1; 0,2; 0,3 МПа и при бытовых (природных) давлениях, обусловленных весом толщи грунта на глубине отбора образца. Полученные данные позволяют рассчитать возможную просадку инженерного сооружения, определить суммарную просадку лессовой толщи при замачивании, мощность просадочной тощи и начальное давление просадочности [8, 9].

В таблице 3 приведены данные по изменению с глубиной величины относительной просадочности лессовых грунтов опорных разрезов Таджикистана, полученных методом компрессионных испытаний «одна кривая» при бытовой нагрузке, равной давлению от собственного веса грунта. В целом просадочность с глубиной уменьшается, достигая значений  $\varepsilon_{sl}$  равных

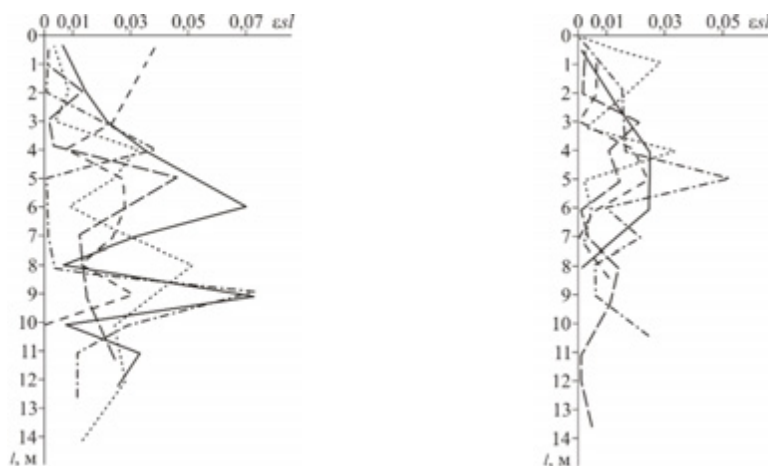
0,012...0,025 на глубинах 28,0...37,0 м, что свидетельствует о наличии просадочных свойств грунта до указанных глубин. Значения величины начального давления просадочности для толщи составляют 0,02...0,04 МПа.

Таблица 3

Изменение величины относительной просадочности ( $\varepsilon_{sl}$ ) лессовых грунтов Таджикистана с глубиной при бытовом давлении [6].

Разрез	Глубина, м	От — до	Среднее арифметическое	Среднее квадратичное отклонение
Каратау	0...11	0,035...0,085	0,049	0,023
	12...14	0,008...0,035	0,012	0,010
	15...29	0,010...0,012	0,064	0,030
	30...32	0,003...0,016	0,008	0,006
	33...37	0,008...0,020	0,012	0,006
Хукумат	0...11	0,009...0,072	0,042	0,024
	12...14	0,019...0,043	0,036	0,021
	15...21	0,012...0,065	0,043	0,026
	22...24	0,006...0,013	0,008	0,004
	25...28	0,010...0,036	0,025	0,009

На рисунке показаны графики изменения величины относительной просадочности при бытовой нагрузке для лессовых толщ покрова террас р. Днестр и водораздельных пространств Молдовы.



Лессовые породы террас:

- Карагаш (2-я терраса Днестра),  $dQ_{2-4}$ ;
- Сорока (2-я терраса Днестра),  $dQ_{2-4}$ ;
- Бендер (2-я терраса Днестра),  $deolQ_{2-4}$ ;
- Красная горка (5-я терраса Днестра),  $deolQ_{2-4}$ ;
- ..... Рыбница (5-я терраса Днестра),  $dQ_{1-4}$

Лессовые породы водораздела:

- Орак,  $deolQ_{3-4}$ ;
- Владимировка,  $deolQ_{3-4}$ ;
- Суручень,  $edpQ_{3-4}$ ;
- Мирешть,  $edpQ_{3-4}$ ;
- ..... Мындрешть,  $edQ_{3-4}$

Изменение с глубиной величины относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  лессовых пород Молдовы при бытовой нагрузке [2]

Значение  $\varepsilon_{sl}$  свыше величины 0,01 характерно для образцов, отобранных до глубины 13,0...14,0 м, что соответствует мощности просадочной толщи. Величина начального давления просадочности составляет 0,10...0,12 МПа [10].

### **Послепросадочное уплотнение**

Послепросадочную деформацию в соответствии с ВСН–II-23-75 моделируют методом длительной фильтрации через предварительно нагруженные и насыщенные водой образцы грунта<sup>1</sup>. При фильтрации возобновляется процесс уплотнения, который постепенно затухает в течение нескольких месяцев, и грунт переходит в стабилизированное состояние. Величина деформации и время уплотнения связаны со сложным физико-механическим процессом, зависящим от гранулометрического и минералогического состава, солевого комплекса, структуры и плотности породы.

Вопросы количественной оценки послепросадочных деформаций имеют большое значение, особенно для гидротехнических сооружений, в основании которых происходит фильтрация воды. Е. Н. Сквалецкий [11], А. Л. Рубинштейн [12], О. И. Мозговой [13] впервые отметили, что при большой продолжительности и сравнительно слабой интенсивности по величине эти процессы сопоставимы, а местами и превосходят просадочные деформации. Просадочный и послепросадочный процессы (последний некоторыми исследователями именуется как суффозионно-пластический) в основании инженерных сооружений обычно сочетаются, и деформации носят комплексный характер. Из-за трудности их разграничения на практике часто говорят об общей деформируемости лессовой толщи. Условно выделяют наиболее активно протекающую стадию (просадка) и плавно постепенно затухающую послепросадочную стадию.

В таблице 4 приведены результаты сопоставления величины относительной просадочности грунта при кратковременном замачивании по ГОСТ 23161—78 и после длительной фильтрации в компрессионном приборе<sup>2</sup>. Значения коэффициентов послепросадочного уплотнения для лессовых грунтов Таджикистана составляет 1,25...1,69, а для лессовых грунтов Молдовы — 1,97...2,95. Это свидетельствует о провално-просадочном типе грунтов из Таджикистана и замедленно-просадочном типе грунтов из Молдовы [14].

### **Оценка просадочности грунтов натурными исследованиями**

Важнейшей характеристикой лессовой толщи при проектировании строительства является тип грунтовых условий по просадочности, определяемый возможной просадкой лессовой толщи при ее полном водонасыщении. Прогноз этого показателя может осуществляться двумя методами: расчетным и опытным. Расчетный метод основан на использовании данных компрессионных испытаний образцов грунта ненарушенного сложения, отобранных из горных выработок или буровых скважин. Испытания выполняются методом «одной кривой» с замачиванием образца при нагрузке, равной природному давлению от собственного веса толщи грунта.

<sup>1</sup> ВСН–II-23-75. Инструкция по проектированию оросительных систем на просадочных грунтах. URL: <http://gost.gtxever.ru/Index2/1/4293738/4293738186.htm?ysclid=lxuwkhs09473227195>.

<sup>2</sup> ГОСТ 23161—78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901705972>.

Опытный метод подразумевает подготовку опытного котлована и замачивание его на протяжении длительного времени до полного промачивания всей лессовой толщи. Деформации грунта фиксируются при помощи реперов, установленных на дне котлована и в глубине толщи, что позволяет определить наиболее активные к деформациям горизонты толщи.

Таблица 4

*Сопоставление величины относительной просадочности при кратковременном увлажнении и после длительной фильтрации.*

Район	$N$	$\varepsilon_{sl}$	$\varepsilon_{sl}^{\phi}$	$KПУ = \frac{S_{sl}^{\phi}}{S_{sl}}$
Таджикистан [6]				
Дангаринская долина	9	0,061	0,091	1,49
Плато Гарауты	8	0,024	0,030	1,25
Колхозобадский полигон	8	0,024	0,030	1,25
Плато Урта-Боз (г. Пяндж)	11	0,059	0,074	1,26
Сельбурское водохранилище	14	0,050	0,065	1,30
Гиссарская долина	8	0,031	0,052	1,69
Молдова [2]				
Южная Молдавия	9	0,013	0,029	2,95
Юго-Восточная Молдавия	9	0,015	0,022	2,47
Южно-Молдовская лессовая равнина	6	0,025	0,039	1,97

*Примечание:*  $N$  — количество определений;  $\varepsilon_{sl}$  — величина относительной просадочности по ГОСТ 23161-78;  $\varepsilon_{sl}^{\phi}$  — величина относительной просадочности, рассчитанная после длительной фильтрации; КПУ — коэффициент послепросадочного уплотнения.

В таблице 5 приведены результаты опытных замачиваний котлованов в двух описываемых регионах [2, 6]. В целом сходимость данных достаточно хорошая, причем в большинстве случаев прогнозное значение просадки толщи превышает фактическую величину на 10...20 % и только в южной части Молдовы (с. Баурчи) фактическая просадка превысила прогнозную на 22 % [15—18].

Длительные режимные наблюдения за деформацией гидромелиоративных объектов на территории Таджикистана позволили дать количественную оценку величины послепросадочного уплотнения грунта относительно его просадки (табл. 6). В целом послепросадочное уплотнение при наблюдениях в течение 4 месяцев и более составило менее 50 % от величины просадки [6].

Таблица 5

*Сопоставление расчетных и фактических просадок опытных котлованов.*

Местоположение опытного котлована	Мощность просадочной толщи, $H_{пр}$ , м	Просадка, см		$\frac{S_p}{S_\phi}$
		Прогнозная $S_p$	Фактическая $S_\phi$	
Таджикистан [6]				
Плато Гарауты	12,0	68,0	62,0	1,09
Колхозобадский полигон	27,0	137,0	109,0	1,03
Яванская долина	29,0	201,0	81,0	2,05
г. Душанбе	17,0	74,0	68,0	1,09
Дангаринская долина	28,0	149,0	137,0	1,01
Молдова [2]				
г. Кишинев котлован 1	15,0	3,0	2,5	1,20
г. Кишинев котлован 2	13,0	2,8	2,4	1,17
с. Баурчи	20,5	25,9	33,0	0,78

*Примечание:*  $S_p$  — прогнозная величина по результатам компрессионных исследований;  
 $S_\phi$  — фактическая осадка дна котлована при длительном замачивании

Таблица 6

*Просадочные и послепросадочные деформации лессовых толщ  
Таджикистана при длительном замачивании грунта в котлованах  
на опытных полигонах [6].*

Район, грунты	Время, мес.	Деформации, см		$\frac{S_{sl}^\phi}{S_{sl}}$ , %
		$S_{sl}$	$S_{sl}^\phi$	
Плато Гарауты, лессовидная супесь	12	30,7	10,5	34
Колхозобадский полигон, лесс	4	77,5	38,5	50
Долина р. Пяндж	14	210,0	52,0	25
Чаща Сельбурского водохранилища, лесс	174	149,0	51,0	34
Дангарская долина, лессовидный суглинок	7	155,0	56,0	36
Гиссарская долина, лессовидный суглинок	3	70,0	42,0	60

*Примечание:*  $S_{sl}$  — просадочная деформация;  $S_{sl}^\phi$  — послепросадочное уплотнение

### Выводы

Основные отличия в составе и свойствах обеих территорий, приведенные в табл. 7, свидетельствуют о том, что, несмотря на достаточно одинаковые условия накопления мелкозема вследствие эолового, делювиального и пролювиального генезиса, просадочные свойства лессовых отложений существенно различаются в результате проявления зональных *климатических* и *геологических* факторов.

Региональные особенности состава и свойств охарактеризованных грунтов указывают на необходимость индивидуального подхода при проектировании объектов водохозяйственного строительства и выборе мероприятий по устранению просадочных свойств грунтов в каждом отдельном регионе.

Т а б л и ц а 7

*Региональные инженерно-геологические особенности верхнечетвертичной  
 лессовой толщи Таджикского и Молдавского регионов.*

Показатели	Таджикистан	Молдова
Коэффициент увлажнения территории	0,18...0,48	0,72...0,80
Содержание пылевой фракции, %	84,0...93,0	35,0...70,0
Минеральный состав дисперсной фракции, %	Гидрослюда 65,0...80,0 Каолинит 10,0...25,0	Монтмориллонит 50,0 Гидрослюда 50,0
Влажность, д.е.	0,07	0,13...0,14
Пористость, %	49,0	44,7...45,5
Относительная просадочность при 0,3 МПа	0,050	0,033...0,036
Коэффициент послепросадочного уплотнения	1,25...1,69	1,97...2,95
Мощность просадочной толщи, м	28,0...37,0	13,0...14,0
Начальное давление просадочности, МПа	0,02...0,04	0,10...0,12

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кригер Н. И. Лесс: Формирование просадочных свойств. М. : Наука, 1968. 133 с.
2. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Т. М. Тихонова, И. Ю. Кузьменко. Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2015. 204 с.
3. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В. Инженерно-геологическая характеристика лессовых пород Северного Причерноморья в связи с их послепросадочным уплотнением / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 5—16.
4. Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A. Features of assessment of subsidence properties of loess rocks in the design of bases and foundations in central Moldova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 463. Iss. 4. Pp. 042—058.
5. Olyanskii Y. I., Shekochikhina E. V., Kalinovskii S. A. Predicting the post-subsidence consolidation of slowly subsiding loess soils in constructing hydraulic structures // Power Technology and Engineering. 2020. Vol. 53. Iss. 5. Pp. 545—548.
6. Сквалецкий Е. Н. Инженерно-геологическое прогнозирование и охрана природной среды. Душанбе : Доним, 1988. 260 с.
7. Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A. Researches of the seismic properties of clay soils for seismic microzoning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. Vol. 753. Iss. 2. Pp. 022005.
8. Olyanskii Y. I., Shekochikhina E. V., Kalinovskii S. A. Forecast of magnitude post subsidence compaction at the bulding on slow-subsidence of loess soils // E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. 2019. Vol. 97. Iss. 1. Pp. 04001.
9. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Прогнозирование послепросадочного уплотнения замедленно просадочных лессовых грунтов при строительстве гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2019. № 8. С. 13—17
10. Щекочихина Е. В., Олянский Ю. И. Инженерно-геологическое обоснование строительства на просадочных грунтах Днестровско-Прутского Междуречья / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 84—96.

11. Сквалецкий Е. Н. К количественному прогнозу послепросадочного уплотнения лессовых грунтов // Инженерная геология. 1983. № 2. С. 48—58.
12. Рубенштейн В. А. Особенности прогноза просадки сооружений на лессовых грунтах Поволжья // Гидротехника и мелиорация. 1973. № 12. С. 36—39.
13. Мозговой О. И. Исследование просадочности лессовых пород Дагестана разными методами // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов. Вып. 3. Ростов-н/Д. : Изд-во РГУ, 1972. С. 69—75.
14. Olyanskii Y. I., Kalinovsky S. A. Features of construction of buildings and constructions on loessial the bases in Moldova // XXIst International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction — The Formation of Living Environment. 2018. Vol. 365. Iss. 6. Pp. 062034.
15. Methodology of natural risk assessment in Russia / V. I. Osipov, V. I. Larionov, V. N. Burova, N. I. Frolova, S. P. Sushchev // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. No. 1. Pp. 17—41.
16. Osipov V. I., Burova V. N., Karfidova E. A. Methodological principles of geo-hazard vulnerability evaluation of capital construction assets in urbanized areas // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2017. Vol. 53. No. 6. Pp. 420—425.
17. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Серебряков О. И. Геоэкологическая оценка лессовых пород междуречья Прут — Днестр / Геология, география и глобальная энергия. 2020. № 1(76). С. 163—172.
18. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Прогнозирование послепросадочного уплотнения замедленно просадочных лессовых грунтов при строительстве гидротехнических сооружений / Гидротехническое строительство. 2019. № 8. С. 13—17.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Карапузова Н. Ю., Татаркин А. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Карапузова Н. Ю., Татаркин А. В. К вопросу о региональных инженерно-геологических особенностях просадочных грунтов при гидротехническом и мелиоративном строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 24—33. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_24.

Об авторах:

**Олянский Юрий Иванович** — д-р геол.-минерал. наук, 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

**Карапузова Наталья Юрьевна** — канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, 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 национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15; vsto08@mail.ru

**Yurii I. Olyanskii<sup>a</sup>, Evgeniya V. Shchekochikhina<sup>a</sup>, Natalya Yu. Karapuzova<sup>a</sup>,  
Aleksey V. Tatarkin<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Perm National Research Polytechnic University*

## ON THE QUESTION OF REGIONAL ENGINEERING-GEOLOGICAL FEATURES OF COMPLIANCE SOILS DURING HYDROTECHNICAL AND RECLAMATION CONSTRUCTION

Using the example of two regions of distribution of loess subsidence soils — Moldova and Tajikistan, characterized by different paleogeographic conditions for the accumulation of fine earth and



its postgenetic transformations due to the manifestation of climatic factors and bedding conditions, the features of assessing the subsidence properties of soils in the foundations of designed hydraulic and reclamation structures are shown.

**Key words:** loess soils, subsidence, post-subsidence compaction, relative subsidence, compression tests.

*For citation:*

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Karapuzova N. Yu., Tatarkin A. V. [On the question of regional engineering-geological features of compliance soils during hydrotechnical and reclamation construction]. *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], 2024, iss. 2, pp. 24—33. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_24.

*About authors:*

**Yurii I. Olyanskii** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, 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

**Natalya Yu. Karapuzova** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

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

УДК 624.15

**М. А. Степанов, Л. А. Бартоломей**

*Тюменский индустриальный университет*

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ В ВОПРОСЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ЖИЛОГО ДОМА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК**

Рассмотрена актуальность проведения своевременного геотехнического мониторинга зданий и сооружений в рамках «Стратегии развития строительной отрасли». Представлены результаты проведения работ по научно-техническому сопровождению восстановления работоспособного состояния жилого дома в г. Надыме, получившего значительные неравномерные деформации. В статье рассмотрены вопросы верификации расчетной модели объекта, позволяющей учитывать напряженно-деформированное состояние системы «основания — фундамент — здание», а также анализ вариантов усиления основания, обеспечивающих механическую безопасность здания.

**Ключевые слова:** фундамент, основание, механическая безопасность, неравномерные деформации, геотехнический мониторинг, численное моделирование, научно-техническое сопровождение, усиление.

### **Введение: актуальность проведения геотехнического мониторинга**

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в Российской Федерации в настоящее время ведется, главным образом, в сложных инженерно-геологических условиях [1—9]. При этом перед строительной отраслью поставлены непростые и амбициозные цели и задачи. В соответствии с утвержденной «Стратегией развития до 2030 года...» к ним относится<sup>1</sup> создание условий:

- для преодоления последствий кризисных явлений за счет строительной отрасли как основы для восстановления экономики;
- комплексного обновления населенных пунктов и повышения качества жизни граждан;
- вовлечения в хозяйственный оборот ранее не задействованных для строительства земельных участков, повышения эффективности использования земельных участков, предназначенных для строительства;
- обеспечения населения жильем к 2030 г. на уровне не менее 33,3 м<sup>2</sup> на 1 чел.;
- минимизации негативного воздействия строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства на окружающую среду.

В связи с этим для обеспечения требований устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда, включающего в себя ветхое и аварийное жилье, значительное количество недостроенных сооружений, особо важны вопросы проведения мониторинга технического состояния зданий и

---

<sup>1</sup> Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 31.10.2022 N 3268-р. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf>.

сооружений, а также восстановления и поддержания их работоспособного состояния в случае необходимости [1—18].

Геотехнический мониторинг представляет собой комплекс мероприятий, направленных на обеспечение работоспособного состояния зданий, сооружений и окружающей застройки в процессе строительства и эксплуатации [5, 8, 10, 19, 20]. Причинами, по которым может реализоваться переход объектов в ограниченно-работоспособное или аварийное состояние, происходят их деформации [2, 7, 9, 21], являются:

- недостатки инженерно-геологических изысканий — неполный их объем, низкие достоверность и применимость результатов;
- ошибки при проектировании оснований и фундаментов;
- неправильный выбор и выполнение технологии производства работ;
- негативные воздействия на основания в процессе эксплуатации;
- эволюция инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительной площадки.

В большинстве случаев аварии происходят из-за совокупности нескольких факторов, которые совместным воздействием исчерпывают запас прочности строительных конструкций и приводят их к аварийному состоянию.

### **1. Анализ эффективности проведения геотехнического мониторинга на примере жилого дома**

В рамках данной статьи анализ эффективности геотехнического мониторинга и научно-технического сопровождения проводится на примере девятиэтажного жилого многоквартирного дома, расположенного в г. Надыме (рис. 1). В процессе эксплуатации здание претерпело значительные деформации, выражающиеся в многочисленных трещинах шириной раскрытия до 80 мм и сверхнормативных средних и неравномерных осадках. Таким образом, возникли вопросы по устранению аварийного состояния и восстановлению объекта.



Рис. 1. Общий вид здания

Здание представляет собой четыре блок-секции (рис. 2), каждая из которых является симметричной регулярной конструктивной системой вертикальных элементов и панельных вставок с приставными к объемным блокам стеновыми панелями и опирающимися на них плитами перекрытия, объединенных между собой в единую жесткую пространственную систему.

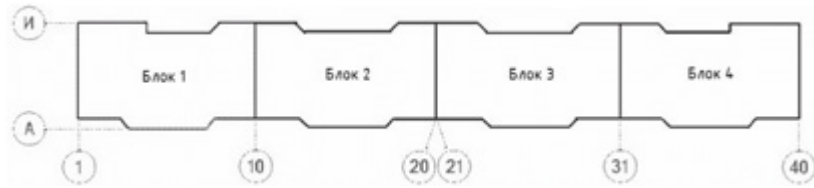


Рис. 2. Общая схема блокировки здания

Рельеф местности — равнинный, с незначительным понижением в сторону озера Янтарного, расположенного в 150 м юго-западнее (рис. 3).



Рис. 3. Схема расположения исследуемого объекта<sup>2</sup>

Основание представлено преимущественно песками мелкими и средней крупности, маловлажными и водонасыщенными, средней плотности. На глубине 5,0...6,0 м имеется прослой торфа мощностью 0,3...0,5 м. На глубине 18...25 м встречаются глины от тугопластичной до мягкопластичной консистенции. При проведении контрольных изысканий грунтовые воды на участке зафиксированы на глубине 2,5...4,5 м.

Геотехническая категория здания — 2 (средняя). Фундамент выполнен в виде железобетонной монолитной плиты толщиной 500 мм.

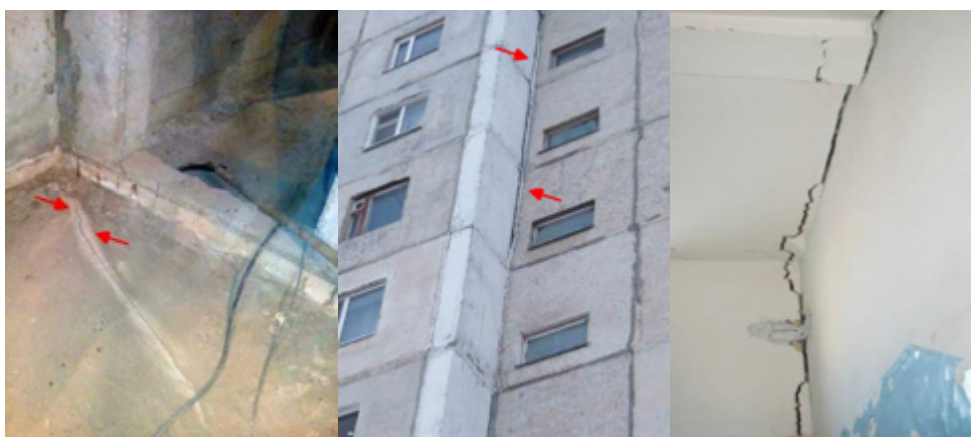
По состоянию на 2018 г. установлен переход 4-го блока здания в аварийное состояние:

- в теле фундамента — сквозные трещины, ширина раскрытий которых в процессе эксплуатации здания увеличивалась до 11 мм (рис. 4);
- в ходе геотехнического мониторинга зафиксированы сверхнормативные осадки, максимальные значения которых достигли 14 см;
- в лестнично-лифтовом узле 4 — смещения стеновых панелей из проектного положения с образованием трещин, максимальные значения которых превысили предельно допустимые и составили 8,0...8,3 мм;
- нарушено опирание плит покрытия;
- имеются смещения, перекосы и расстыковка, выпучивание стеновых панелей в плоскости и из плоскости стен с образованием трещин между панелями и в местах сопряжений наружных и внутренних стен;
- прочие дефекты.

<sup>2</sup> Яндекс-карты. URL: [https://yandex.ru/maps/11229/nadym/house/naberezhnaya\\_orudzheva\\_34](https://yandex.ru/maps/11229/nadym/house/naberezhnaya_orudzheva_34).

Во всех четырех блоках обнаружено повсеместное смещение стеновых панелей из проектного положения. Отклонение от вертикали изменяется от 1 до 8,3 см.

Необходимо, контролируя ситуацию за счет проведения геотехнического мониторинга и разработанных на его основании временных противоаварийных мероприятий, выполнить научно-техническое сопровождение работ по восстановлению работоспособного состояния объекта, не допустив его разрушения [8, 16, 21]. На фасадах закреплены до 50 деформационных марок, также установлены осадочные марки [13, 22].



Сквозные трещины в теле фундамента четвертого блока шириной раскрытия до 11 мм

Трещины в межпанельных швах шириной раскрытия до 80 мм в четвертом блоке в осях 37/Ж-И

Трещина в стыке стеновых панелей и примыкания лестничной площадки к стене в блоке № 4 шириной раскрытия до 50 мм

Рис. 4. Основные дефекты исследуемого объекта

## 2. Вопросы верификации расчетной модели жилого дома для оценки актуального напряженно-деформированного состояния основания и конструкций здания

В дополнение к выполняемому мониторингу проведены численные исследования причин возникновения неравномерных деформаций для установления действительного напряженно-деформированного состояния (НДС) как конструкций объекта (надземных и подземных), так и его основания. Важно было максимально верифицировать численную модель здания для анализа наиболее эффективного варианта восстановления его работоспособного состояния.

Численные исследования возникновения причин перехода здания в аварийное состояние выполнялись в нескольких программных продуктах с применением различных расчетных моделей:

- с использованием коэффициента постели  $C_1$ , рассчитанного с учетом итераций по модели Винклера-Фусса (LIRAsoft);
- с использованием упругопластической модели грунта Mohr-Coulomb (MIDAS GTS NX) (рис. 5, 6).

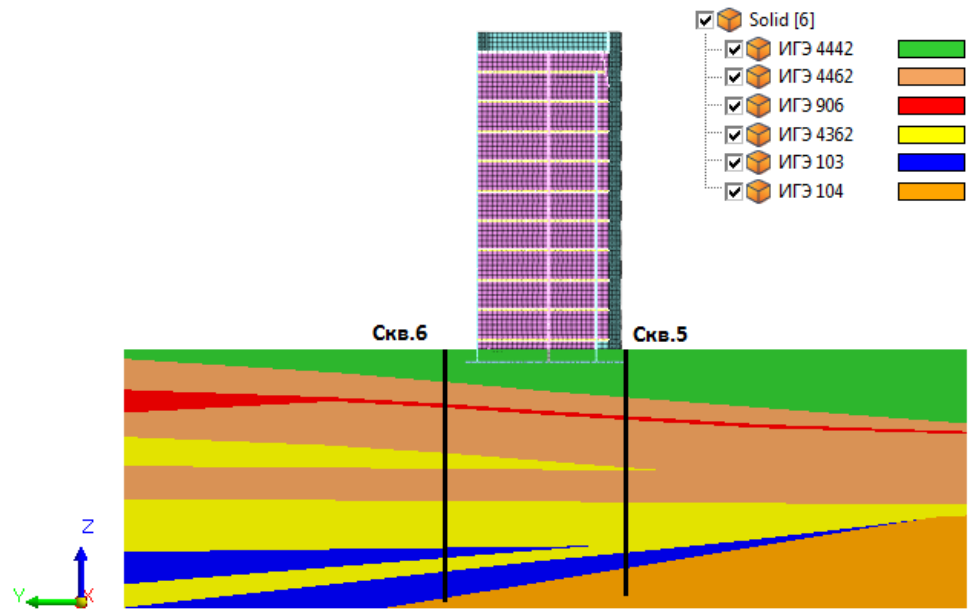


Рис. 5. Инженерно-геологический разрез в MIDAS GTS NX

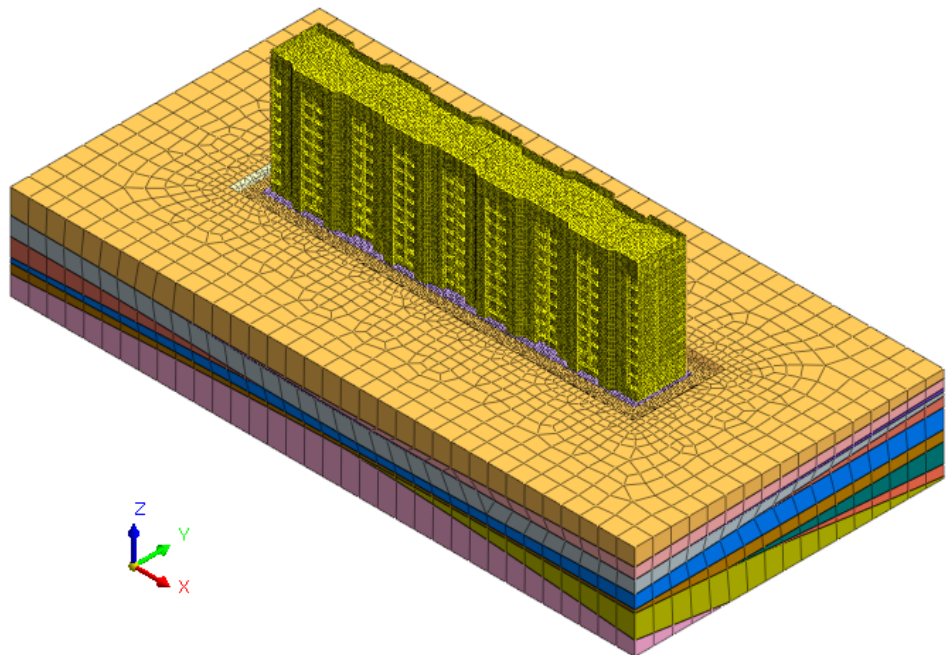


Рис. 6. Общая модель взаимодействия системы «основание — фундамент — здание»

В процессе анализа и верификации модели выполнялся реэкспорт из одной модели в другую. Расчеты взаимодействия системы «основание — фундамент — здание» проводились поэтапно с учетом последовательности и технологии производства работ:

- 1) расчет напряжений от собственного веса грунта до начала работ по устройству котлована, фундамента и здания;
- 2) устройство котлована;
- 3) поэтажное возведение здания;
- 4) приложение действующих на здание нагрузок с учетом времени.

Результаты, полученные при численном моделировании, сопоставлялись с данными геотехнического мониторинга, при этом проводился сравнительный анализ значений вертикальных перемещений и деформаций.

Выполненные расчеты осадок здания с использованием упругопластической модели грунта Мора-Кулона позволили получить результаты, имеющие хорошую сходимость с данными мониторинга, для анализа изменений НДС системы «основание — фундамент — здание» расчетная модель экспортировалась обратно в LIRAsoft.

Итоговое отклонение полученных значений осадок после расчета модели, экспортированной из MIDAS GTS NX в LIRAsoft, по сравнению с данными геотехнического мониторинга составило около 1,7 % (рис. 7).

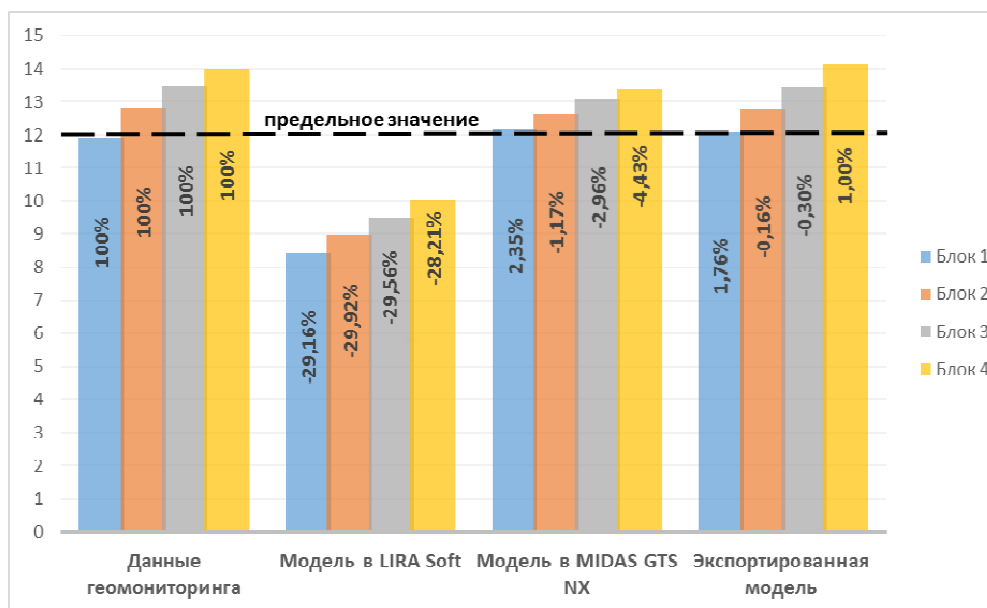


Рис. 7. Сводная гистограмма максимальных деформаций, полученных при расчете в различных программных комплексах

В результате численных исследований и анализа системы «здание — фундамент — основание» удалось учесть сложное напластование различных инженерно-геологических элементов с характерными физико-механическими свойствами, которое являлось причиной неравномерных деформаций грунтового основания (рис. 8).

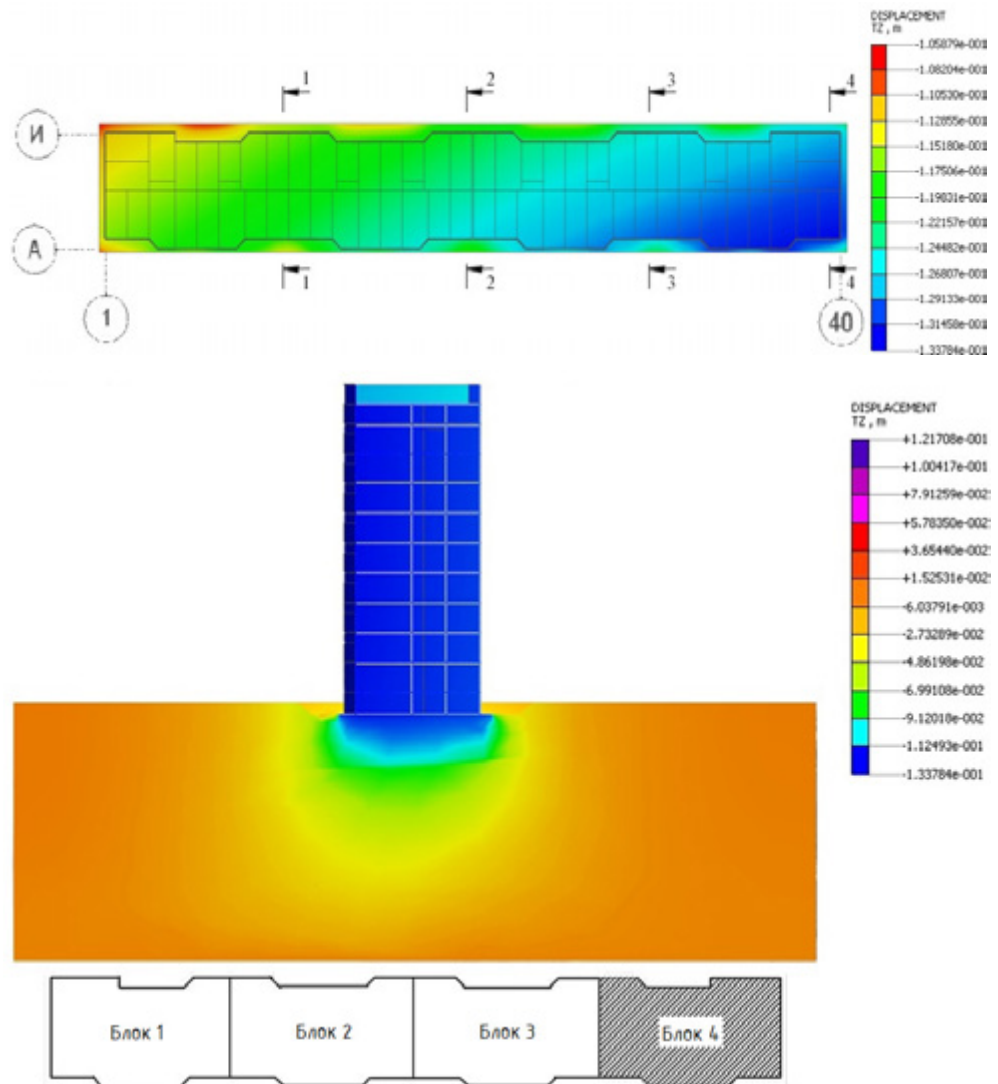


Рис. 8. Максимальные вертикальные перемещения здания и грунтов основания в четвертом блоке (разрез 4—4)

### 3. Результаты анализа и работы по усилению основания и восстановлению работоспособного технического состояния жилого дома

Для обеспечения стабилизации осадок заказчиком рассматривалось несколько вариантов усиления грунтового основания с помощью буроинъекционных технологий [3, 8], предлагаемых разными организациями.

С использованием ранее верифицированной модели (см. рис. 6) рассматривались и анализировались два предложенных варианта усиления грунтового основания:

- цементация по манжетной технологии;
- с помощью буроинъекционных свай типа «Атлант».

Заказчиком выбрана технология устройства буроинъекционных свай типа «Атлант» как наиболее экономически эффективная и целесообразная для



обеспечения стабилизации осадок и требований по деформациям на участке проведения работ.

Размещение свай усиления предполагалась по трем основным рассматриваемым схемам:

- в лестнично-лифтовом узле аварийного четвертого блока — 40 шт.;
- в четвертом блоке — 50 шт.;
- вдоль всего здания — 242 шт.

По результатам анализа установлено следующее (рис. 9):

- усиление сваями «Атлант» в лестнично-лифтовом узле четвертого блока приводит к снижению значения осадок в среднем на 1 %, которые все равно превышают нормативные;
- усиление сваями «Атлант» в четвертом блоке приводит к снижению значения осадок в среднем на 9,4 %;
- усиление сваями «Атлант» вдоль всего здания приводит к снижению значения осадок в среднем на 15,1 %.

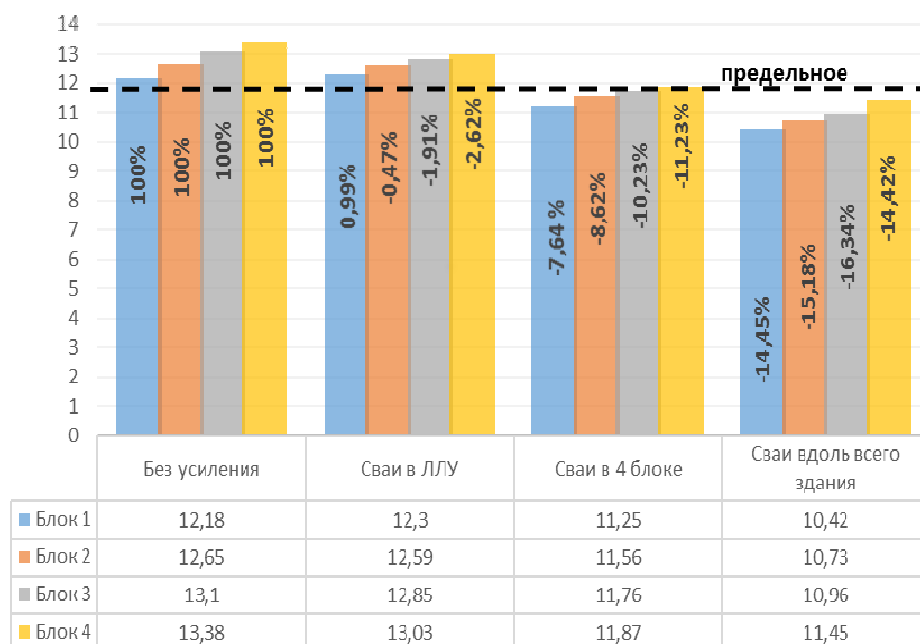


Рис. 9. Сводная гистограмма максимальных осадок различных вариантов усиления основания

Установлено, что вариант усиления грунтового основания буроинъекционными сваями типа «Атлант», которые расположены в четвертом блоке, является наиболее оптимальным и выгодным по совокупности двух факторов: требуемой механической безопасности и экономической эффективности (табл.).

Изменение вертикальных стабилизированных (конечных) перемещений здания и грунтов основания до усиления и после него приведены на рис. 10.

*Технико-экономические показатели сравниваемых вариантов усиления  
грунтового основания*

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина показателя	
		Сваи в 4 блоке	Сваи вдоль всего здания
Сметная стоимость работ	тыс. руб.	3761,110	18203,767
Сметная трудоемкость	чел.-ч	1140,55	5520,26

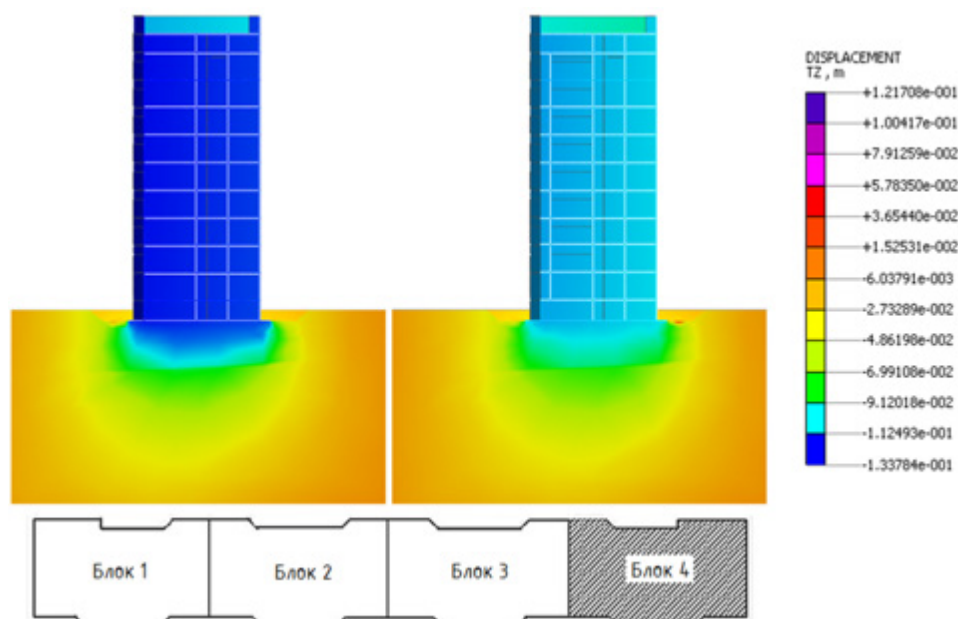


Рис. 10. Вертикальные перемещения здания и грунтов основания в четвертом блоке до (слева) и после усиления (справа)

### **Заключение**

В настоящее время работы по усилению грунтового основания по предложенному в рамках научно-технического сопровождения варианту, а также работы по усилению надземных конструкций завершены. Деформации стабилизировались, помимо усиления выполнен ремонт мест общего пользования и квартир, здание эксплуатируется. Наблюдения продолжаются уже в рамках работы управляющей компании.

В целом, проведение мониторинга позволяет обеспечить как увеличение надежности и механической безопасности, представляя собой элемент профилактического контроля за состоянием объектов строительства и их эксплуатации (контроля по недопущению потери работоспособного технического состояния), так и обеспечить повышение экономической эффективности при выборе варианта проведения работ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адищев В. В., Резник О. В. Анализ аварий зданий и мероприятия по их предотвращению // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 1. С. 261—264.

2. *Габуева В. А.* Инженерно-геологические изыскания и последствия отказа от них // StudNet. 2020. № 6. С. 439—443.
3. *Ильичев В. А., Никифорова Н. С., Готман Ю. А.* Обеспечение конструктивной безопасности объектов с подземной частью путем преобразования свойств грунтов (на примере Алабяно-Балтийского тоннеля в Москве) // ОФМГ. 2017. № 2. С. 35—39.
4. *Латидус А. А.* Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта // Вестник МГСУ. 2019. № 11(134). С. 1428—1437.
5. *Осокин А. И., Татаринцов С. В., Денисова О. О., Макарова Е. В.* Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности строительства // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 10—18.
6. *Петрухин В. П., Шулятьев О. А., Мозгачева О. А.* Новые способы геотехнического проектирования и строительства: монография. М. : АСВ, 2015. 224 с.
7. *Пшеничкина В. А., Глухов А. В., Глухова С. Г.* Оценка безопасности конструкций общественного здания вероятностным методом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 23—32.
8. *Степанов М. А., Чернова А. Ю.* Актуальность проведения геотехнического мониторинга объектов строительства на примере города Тюмени // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 3(38). С. 78—84.
9. *Улицкий В. М., Шапкин А. Г.* Концепция геотехнического сопровождения строительства и реконструкции для новой редакции петербургских геотехнических норм // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2002. №5. С. 29—43.
10. *Рыкова В. В.* Геотехнический мониторинг: анализ информационных массивов зарубежных и российских баз данных // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14(66). С. 155—164.
11. *Castagnetti C., Cosentini R. M., Lancellotta R., Capra A.* Geodetic monitoring and geotechnical analyses of subsidence induced settlements of historic structures // Structural Control and Health Monitoring. 2017. Vol. 24. Iss. 12. e2030.
12. *Cavalca E., Valletta A., Carri A., Savi R.* Monitoring of preconvergence deformations in a road tunnel: data analysis and validation // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 833. Iss. 1. Pp. 012199.
13. *Gryaznova E.* Geotechnical monitoring to ensure reliability of construction and operation of buildings and structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Iss. 5. 052014.
14. *Gudehus G., Touplikiotis A.* On the stability of geotechnical systems and its fractal progressive loss // Acta Geotechnica. 2018. Vol. 13. Iss. 2. Pp. 317—328.
15. *Pronozin Y. A., Kajgorodov M. D., Epifantseva L. R.* Structural safety of buildings in excess values of differential settlements // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Ekaterinburg. 2019. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/481/1/012013.
16. *Rahardjo P. P., Anggoro B. W.* The use of geotechnical instrumentation and cptu for investigation of geotechnical failures during construction in civil engineering projects // Lecture Notes in Civil Engineering. 6th International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering. 2021. Vol. 132. Pp. 1098—1115.
17. *Stepanov M. A., Volosyuk D. V., Bartolomey L. A.* Geotechnical monitoring results of 22-storey buildings on combined strip pile foundations with prestressed soil bases // Journal of Physics. 2021. Vol. 1928. Iss. 1. 012027.
18. *Wang Z., Guo X., Wang C.* Field Monitoring Analysis of Construction Process of Deep Foundation Pit at Subway Station // Geotechnical and Geological Engineering. 2019. Vol. 37. Iss. 2. Pp. 549—559.
19. *Ye S., Li D.* Monitoring and simulation analysis of deep and large foundation pit excavation in complex environment Tumu Gongcheng Xuebao. China // Civil Engineering Journal. 2019. Vol. 52. Pp. 117—126.
20. *Golser J., Steiner W.* International and European standards for geotechnical monitoring and instrumentation // Geomechanik und Tunnelbau. 2021. Vol. 14. Iss. 1. Pp. 63—77.
21. *Воронкова Г. В., Катеринина С. Ю., Рекунов С. С., Чураков А. А.* Усиление железобетонных конструкций административно-бытового здания промышленного предприятия // Вест-

ник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 5—13.

22. Dorofeev N. V., Grecheneva A., Romanov R. V., Pankina E. S. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 873. Iss. 1. 012030.

© Степанов М. А., Бартоломей Л. А., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Степанов М. А., Бартоломей Л. А. Актуальность геотехнического сопровождения в вопросе восстановления работоспособного состояния жилого дома при развитии неравномерных осадок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 34—44. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_34.

Об авторах:

**Степанов Максим Андреевич** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительного производства, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38; maxim\_stepanov@inbox.ru

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

**Maxim A. Stepanov, Leonid A. Bartolomey**

**Tyumen Industrial University**

## ACTUALITY OF GEOTECHNICAL SURVEY IN THE MATTER OF WORKING CONDITION RECOVERY OF THE BUILDING WITH THE DEVELOPMENT OF UNEVEN SETTLEMENT

The article discusses about the actuality of timely geotechnical monitoring of the buildings as part of the Construction Industry Development Strategy. Authors presents the results of work on scientific-technical support for the recovery of the working condition of a residential building in Nadym with significant uneven deformations. The article deals with the issues of verification of the object numerical model, which allows to take into account the stress-strain state of the “soil base — foundation — building” system, and presents the analysis of options for soil base and foundation strengthening, ensuring the mechanical safety of the building.

**Key words:** foundation, soil base, mechanical safety, uneven deformations, geotechnical monitoring, numerical modeling, scientific-technical support, reinforcement.

*For citation:*

Stepanov M. A., Bartolomey L. A. [Actuality of geotechnical survey in the matter of working condition recovery of the building with the development of uneven settlement]. *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], 2024, iss. 2, pp. 34—44. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_34.

*About authors:*

**Maxim A. Stepanov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Tyumen Industrial University. 38, Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; maxim\_stepanov@inbox.ru

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

УДК 624.138.24

**Ю. И. Харин<sup>а</sup>, С. И. Махова<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

## **ОПТИМАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВОЛГОГРАДЕ**

Рассмотрены проблемы строительства многоэтажных зданий в сложных грунтовых условиях Волгограда. На примере опыта строительства зданий на суперсваях по разрядно-импульсной технологии компанией ООО «МПО РИТА» в Москве и Тунисе оценивается экономическая целесообразность применения этого высокотехнологичного метода при строительстве жилых зданий в Волгограде.

**Ключевые слова:** проблемные грунты Волгограда, буронабивные сваи, сваи по разрядно-импульсной технологии, свая вытеснения Fundex.

В настоящее время в Волгограде строительство жилых зданий характеризуется, прежде всего, введением точечной застройки зданиями повышенной этажности в уже сложившуюся структуру города. Значительно реже появляются небольшие жилые кварталы, состоящие из групп домов. Жилые здания повышенной этажности за последние годы появились во всех районах города, а также в спутнике Волгограда г. Волжском. Особенно интенсивно ведется жилищное строительство в Центральном, Дзержинском и Ворошиловском районах. Следует отметить, что с 2024 г. в Волгограде запретили строить жилые здания высотой более 24 этажей.

Как правило, многоэтажные здания возводят на плитных, свайных, или плитно-свайных фундаментах. Инженерно-геологические условия на территории Волгограда достаточно сложные, что связано с распространением так называемых особых грунтов [1—4].

Первым от поверхности горизонтом являются техногенные грунты, по преимуществу насыпные и намывные. Вследствие высокой неоднородности в качестве естественного основания для плитных фундаментов они не используются, хотя сроки их самоуплотнения давно исчерпаны. При свайном варианте фундаментов эти грунты полностью прорезаются сваями, которые опираются на слабосжимаемые грунты.

К просадочным грунтам относятся в первую очередь покровные лессовые породы, широко распространенные на водораздельных пространствах и склонах. Кроме того, просадочными являются погребенные лессовые породы ательского горизонта. Оба типа лессовых грунтов проявляют просадочность при замачивании.

Набухающие грунты представлены древними глинами майкопской свиты палеогена. Другим типом набухающих пород являются глины хвалынского горизонта.

К слабым грунтам так же относятся озерно-аллювиальные глины и суглинки бекетовского горизонта, обладающие высокой пористостью, влажностью, сжимаемостью и крайне низкой прочностью. Вполне понятно, что все

перечисленные специфические грунты не могут использоваться в качестве оснований плитных фундаментов без искусственного укрепления грунтов.

В настоящее время строительство новых жилых зданий происходит в условиях существующей окружающей застройки. Поэтому вполне понятно, что в Волгограде в основном используются буронабивные сваи диаметром 0,6...1,5 м и глубиной погружения 16...30 м [1, 5]. В этих же источниках приведены результаты статических испытаний свай на разных объектах.

В Волгограде важнейшим опорным слоем для свай являются песчано-алевритовые породы мечеткинской свиты палеогена. Толща этих пород имеет своеобразный вещественный состав и относится к типу пород с жесткими связями. Они представляют разновидности, промежуточные между песками и песчаниками, образуя гамму пород разнообразной прочности. Причем песчаники играют среди них подчиненную роль и залегают в виде караваев или маломощных пластов толщиной в несколько десятков сантиметров, которые обычно называют плитами. Наиболее характерный пример наблюдается на инженерно-геологических разрезах под строительство школы в Кировском районе Волгограда [1, 5].

Кроме того, среди изученных грунтов в Волгограде в качестве опорных слоев для свай предпочтительны глины киевской свиты палеогена, пески ергенинской свиты неогена, пески хазарской свиты.

Волгоградские геотехники пока не применяли новейшие достижения в области свайных фундаментов. В начале 1990-х гг. геотехника получила новый вид свай с повышенной несущей способностью по грунту — сваи-РИТ. Их особенностью является динамическое уплотнение грунтов в околосвайном пространстве посредством электроимпульсных разрядов больших напряжений в жидком бетоне в стволе сваи (рис. 1). Появилась возможность уплотнять слабые грунты не только *на* глубине, но и *по* глубине, а также увеличить несущую способность свай без существенного увеличения их размеров [6—11].

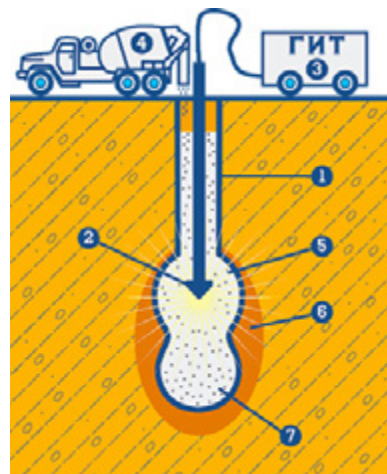


Рис. 1. Сущность разрядно-импульсной технологии устройства сваи-РИТ:  
1 — ствол скважины до обработки; 2 — штанга с электродами; 3 — ГИТ (генератор импульсных токов); 4 — бетононасос; 5 — зона цементации грунта; 6 — зона уплотнения грунта; 7 — ствол сваи после обработки электровзрывами

Суть разрядно-импульсной технологии заключается в следующем. После заполнения свайной скважины мелкозернистым бетоном или цементным раствором в ствол скважины на всю глубину опускается жесткая штанга с элект-

тромами. Затем производится серия высоковольтных электрических разрядов. Возникает электрогидравлический эффект, в результате которого формируется тело сваи в этом месте в виде галтели с уплотнением окружающего сваю грунта.

При первоначальном диаметре скважины в 200...350 мм ее диаметр может быть увеличен более чем в 2...3 раза в результате обработки серией разрядов в зависимости от энергии обработки, физико-механических свойств грунтов и гидрогеологических условий площадки. Окружающие сваю грунты уплотняются, снижается пористость в зоне воздействия ударного импульса. Для слабых водонасыщенных грунтов процесс консолидации происходит практически «мгновенно», как и в случае динамической консолидации при уплотнении грунтов сверхтяжелыми трамбовками [12].

Импульс высоковольтного электрического разряда воздействует на бетон малые доли секунды, поэтому динамическое воздействие на рядом стоящие здания пренебрежимо мало. Процесс адиабатический, поэтому жидкий бетон не успевает нагреваться. При импульсе напряжением в 10 кВ в жидком бетоне возникает давление более 108 Па. Изготовленные по этой технологии сваи получили сокращенное наименование — сваи-РИТ [7, 10].

Российская компания «МПО РИТА» применяет сваи-РИТ в России и за рубежом [9, 13—15]. Компания успешно выполнила за прошедшие годы фундаменты из свай-РИТ под сотни зданий и сооружений, в т. ч. свайные основания РИТ под несколько десятков зданий высотой в 30...45 этажей в Москве.

Для наглядности преимуществ свай-РИТ приведем сравнение их несущей способности со сваями, выполненными по наиболее прогрессивной европейской технологией Fundex.

Технология по изготовлению буронабивных свай Fundex разработана одноименной голландской компанией. В процессе бурения скважины происходит уплотнение грунта вокруг сваи, что позволяет повысить несущую способность сваи по боковой поверхности, это особенно актуально в условиях слабых грунтов (рис. 2).



Рис. 2. Устройство свай диаметром 350 мм по технологии Fundex

Устройство буронабивных свай по технологии Fundex осуществляется с помощью раскатчика. При изготовлении сваи происходит уплотнение грунта по глубине в горизонтальном направлении. В этом случае можно считать, что уплотнение происходит при статической нагрузке.

На строительстве жилого комплекса в г. Химки, Московской области, на ул. Родионова, 5 под одной отдельной секцией шестнадцатиэтажного здания выполнены сваи по технологии Fundex, диаметром 350 мм и длиной 15 м. Под соседней секцией того же здания — сваи-РИТ, диаметром 300 мм и длиной 13,5 м. Для сравнения результатов работы свай проведены испытания статической вдавливающей нагрузкой (рис. 3).

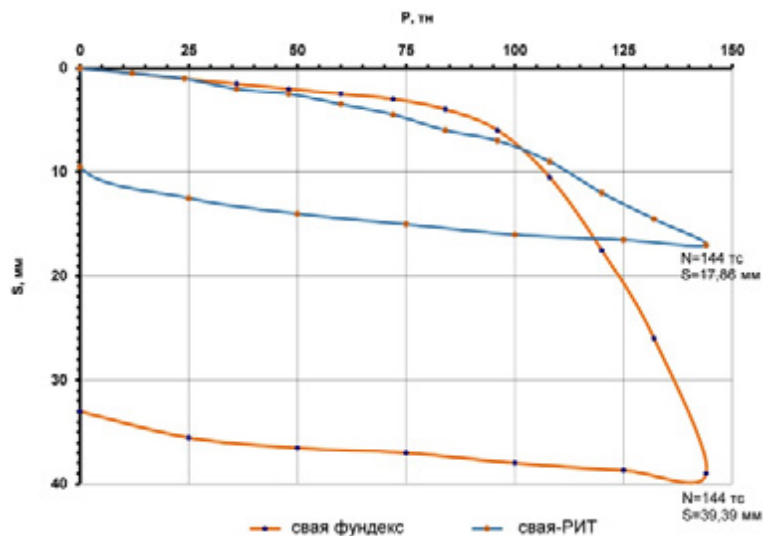


Рис. 3. Совмещенный график результатов испытаний свай Fundex 350 мм длиной 15 м и сваи-РИТ 300 мм длиной 13,5 м статической вдавливающей нагрузкой 144 тс по ГОСТ 5686—94

Сопоставление результатов испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой наглядно показывает существенное увеличение жесткости грунтового основания вокруг сваи-РИТ по сравнению со сваями, изготовленными по технологии вытеснения. Свая вытеснения Fundex при нагрузке 100 т «проваливается», а грунт и свая-РИТ продолжают работать практически в упругой стадии. После снятия нагрузки остаточная осадка сваи-РИТ в 3 раза меньше чем сваи вытеснения. Преимущество сваи-РИТ неоспоримо.

Рассмотрим опыт применения сваи-РИТ в условиях слабых грунтов прибрежных районов Туниса. Характерной особенностью инженерно-геологического строения прибрежных территорий Туниса является наличие в разрезе слабых водонасыщенных грунтов большой мощности от поверхности до глубины 30...60 м, имеющих большую пористость, сжимаемость и низкую прочность. Инженерно-геологические разрезы в основном представлены водонасыщенными глинами, суглинками, истыми отложениями и песками. Отмечается горизонтальность напластований грунтов (параллельная слоистость). В верхних слоях до глубин 25...30 м наблюдаются чередования глинистых, истых и песчаных грунтов, в основном рыхлых, средней плотно-



сти. Прослой песчаных грунтов имеют среднюю мощность (толщину слоя) порядка 1,5 м.

При использовании традиционных буронабивных свай диаметром  $D = 800 \dots 1200$  мм эти прослой не являются «опорой», где сваи могут получить существенную добавку к несущей способности под пятой сваи или по ее боковой поверхности. Остановить такие сваи на прослоях песка толщиной  $H$  нельзя из условия на продавливание слоя (правило Geuze  $3D < H$ ), поэтому в таких грунтах в Тунисе сваи устраивают на глубину 40...50 м и более.

В случае применения свай-РИТ такие прослой из песчаных грунтов служат достаточно надежной основой [14—16].

Совместная тунисско-российская фирма RITA Foundations, работая на тунисском рынке, выполнила свайные основания из свай-РИТ под одиннадцать зданий. Всего изготовлено более 4 тыс. свай-РИТ по технологии полого проходного шнека CFA. Бурение скважин диаметром 320 мм осуществлялось за один проход до глубины 22 м. Мелкозернистый бетон заливался в скважину мощным компрессором непосредственно через полый шнек. В этом случае нет необходимости использовать бентонит при бурении и изготовлении свай. При такой организации работ удавалось изготавливать от 12 до 18 свай-РИТ за рабочую смену. На каждом объекте в обязательном порядке проводились испытания свай вертикальной статической нагрузкой (по французским нормам)<sup>1</sup> [17, 18].

Во всех случаях на всех объектах Туниса сваи-Рит показали высокую несущую способность. Даже при нагрузках, почти вдвое превышавших расчетные, не был достигнут предел пропорциональности (разрушающей нагрузки), что говорит о высокой надежности свай-РИТ в таких слабых грунтах большой мощности.

В качестве примера рассмотрим изготовление свай-РИТ под одиннадцатизэтажное здание с двумя подвальными этажами Zen Immobiliere в районе Lus II столицы Туниса. Инженерно-геологическими изысканиями до глубины 60,0 м не были вскрыты коренные породы. На всю глубину распространялись слабые илистые глины. Лишь до глубины 19,0 м встречаются слои песчано-глинистых грунтов ограниченной мощности и относительно высокой плотности. Тунисские геотехники предложили остановить буронабивные сваи диаметром 800, 900, 1000 и 1200 мм на отметке 40,0 м. В таблице приведены значения несущей способности свай в зависимости от их диаметров, количество свай, определенных местной проектной организацией. Удельная несущая способность свай:

$$P_{уд} = N/V,$$

где  $N$  — несущая способность свай, т;  $V$  — объем свай, м<sup>3</sup>.

В таблице для более полного сравнения добавлены характеристики буронабивных свай, выполненных во Вьетнаме в схожих инженерно-геологических условиях [19].

<sup>1</sup> NF P 94-150-1. Essai statique de pieu isolé sous un effort axial. Norme Française. AFNOR. 1999. P. 28.

Fascicule 62 — Titre V du CCTG “Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil”. P. 45.

*Значения несущей способности свай в зависимости от диаметров*

Тунис в районе Лус II						Вьетнам	
Традиционные буронабивные сваи					РИТ сваи	Хошимин	
Диаметр свай, мм	800	900	1000	1200	320	1000	1000
Длина свай, м	39	39	39	39	10	25	55
Несущая способность, $N$ , т	300	405	420	538	100	160	220
Объем свай, $V$ , м <sup>3</sup>	20,0	25,4	31,4	45,2	1,0	20,0	43,0
Удельная несущая способность, $P_{уд}$	15,0	15,9	13,4	11,9	100,0	8,0	5,0
Количество свай, шт.	62	37	21	31	370	—	—

Из таблицы можно сделать вывод, что удельная несущая способность 1 м<sup>3</sup> залитого бетона свай по технологии РИТ на данном участке строительства в 6...8 раз больше, чем свай больших размеров, выполненных по традиционной технологии.

На этом объекте тунисско-российская фирма RITA Foundations изготовила запроектированные 370 свай-РИТ за один месяц. На практически аналогичном соседнем объекте конкуренты изготавливали основание из 156 традиционных буронабивных свай диаметром от 800 до 1200 мм и длиной 40 м три месяца. Принимая во внимание, что для таких случаев фирма RITA Foundations рассчитывала основание как свайно-плитное, с передачей 25...30 % нагрузки от всего здания через фундаментную плиту на грунт, экономия от перехода на сваи-РИТ составила 160...170 %, поскольку благодаря РИТ-обработке межсвайного пространства, грунт уплотняется и увеличивается модуль деформаций [15].

Со времени изготовления свайных оснований под первые здания в прибрежных районах Туниса прошло более 15 лет. Мониторинг состояния зданий показывает, что дополнительных осадок у этих объектов не наблюдается.

Отметим, что в геологии Туниса часто встречаются переслои, маломощные пласты толщиной 40...60 см повышенной прочности. Это окаменелые песчаники иногда со следами ракушечников. Аналогичные довольно тонкие, но очень прочные плиты встречаются в инженерно-геологических разрезах в Волгограде [1, 5].

Для обычных буронабивных свай данные пласты, кроме проблем при бурении, ничего не дают. Но учитывая уникальность РИТ-технологии, эти слои можно включать в работу кустов свай. Под таким жестким пластом проводится РИТ-обработка, создание дополнительного уплотненного сферического объема грунта, а потом операция осуществляется непосредственно над пластом. В этом случае данный пласт жестко включен в работу свай.

На рисунке 4 показан один из инженерно-геологических разрезов при изысканиях для строительства общеобразовательной школы в Волгограде в Кировском районе. На всех разрезах представлены типичные для Волгограда жесткие пласты разной толщины и протяженности. Из рисунка ясно видно, как, благодаря РИТ-технологии, эти очень прочные пласты можно включить в работу свай-РИТ.

Накопленный опыт применения свай-РИТ и выполненные научные исследования по взаимодействию свай-РИТ с окружающим грунтом позволили разработать ТР 50-180-06 «Технические рекомендации по проектированию и

устройству свай-РИТ для зданий повышенной этажности и сооружений 1-го (повышенного) уровня ответственности» (утв. Правительством Москвы 6.05.2006) и включить свай-РИТ в основной документ по расчетам свай СП 50-102—2003<sup>2</sup>.

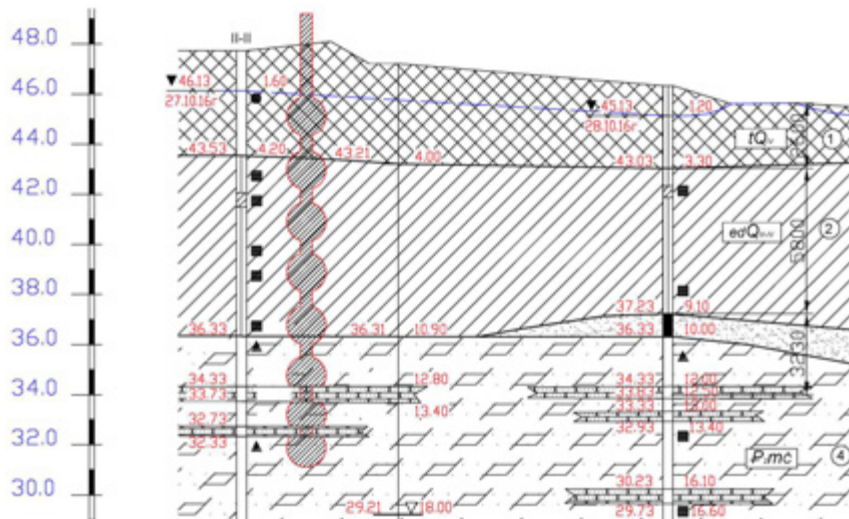


Рис. 4. Инженерно-геологический разрез по линии II-II

Разрядно-импульсная технология позволяет изготавливать геотехнические конструкции, в которые устраиваются сваи и анкера с повышенной несущей способностью, а также производить глубинное уплотнение грунтов в самых сложных условиях, где традиционные технологии малоэффективны. Необходимо отметить, что данная технология является экономически эффективной [8, 11].

#### Выводы

1. Высокая несущая способность свай, изготовленных по разрядно-импульсной технологии обусловлена следующими факторами:

- расширением ствола сваи;
- уплотнением грунта вокруг ствола и под пятой сваи;
- частичной цементацией грунта вокруг ствола.

2. Сопrotивление грунта под пятой сваи увеличивается в 1,5...2,0 раза, а на боковой поверхности — в 1,2...1,5 раз.

3. Особенно эффективны сваи-РИТ в слабых грунтах.

При замене буровых свай диаметром 600 мм на сваи-РИТ обеспечивается снижение стоимости свайного основания на 15...20 %, при замене свай 800 мм на сваи-РИТ — на 25...30 %, при замене свай 1000...1200 мм на сваи-РИТ — на 35...45 %.

<sup>2</sup> СП 50-102—2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. М. : Госстрой России, 2004. 82 с.

ТР 50-180-06. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи-РИТ). М. : ООО УИЦ «ВЕК», 2006. 68 с.

Например, при замене буронабивных свай диаметром 600...1000 мм длиной 45...60 м на свай-РИТ в основании строящегося цементного завода в п. Подгоренском Воронежской области компания ОАО «Евроцемент-групп» получило снижение затрат на устройстве свайного основания на сумму более 2,2 млрд руб.

4. Имеется положительный опыт использования свай-РИТ в свайно-плитных фундаментах зданий повышенной этажности в Москве, когда с одной стороны появляется возможность передавать большую нагрузку от фундаментной плиты на грунт, с другой стороны возможно снижение процента армирования этих плит, т. к. существенно увеличивается количество опор-свай.

5. Отличительной чертой применения свай РИТ, как при новом строительстве, так и при усилении существующих фундаментов, является возможность получения высокой несущей способности свай при ее минимальном буровом диаметре и длине. Несущая способность свай с буровым диаметром 150...250 мм оказывается не меньше, чем у забивных свай сечением 300×300 мм той же длины.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долганов А. П. Инженерно-геологическое обоснование строительства зданий повышенной ответственности в сложных природных условиях (на примере Волгограда): дисс... канд. геол.-мин. наук. Волгоград, 2010. 151 с.
2. Кузнецова С. В., Махова С. И. Инженерно-геологическое обоснование строительства на оползнеопасных участках берега Волги в Ворошиловском районе города Волгограда // Вестник ПНИПУ. Строительство и Архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 128—133.
3. Сняжков В. Н., Долганов А. П., Махова С. И. Песчано-алевритовые породы терригенно-кремнистой формации палеогена как важнейший фактор устойчивости сооружений на территории г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 13(32). С. 11—14.
4. Сняжков В. Н., Махова С. И., Долганов А. П. Инженерно-геологическая характеристика насыпных грунтов на территории Волгоградского мегаполиса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 15(34). С. 29—33.
5. Махова С. И., Сняжков В. Н., Долганов А. П. Сравнительный анализ сложных инженерно-геологических условий территории Волгоградского мегаполиса в связи с современным многоэтажным строительством // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 16(35). С. 46—48.
6. Еремин В. Я. Разрядно-импульсные технологии на стройках России // Стройклуб. 2002. № 1-2. С. 11—15.
7. Строительство на фундаменте знаний. М. : ООО «МПО РИТ», 2006. С. 58.
8. Еремин В. Я., Буданов А. А. Высотным зданиям — надежный фундамент // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 10(81). С. 65—67.
9. Кубецкий В. Л., Еремин В. Я. Применение свай-РИТ в фундаментах высотных зданий // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 240—245.
10. Еремин В. Я., Буданов А. А. Деформируемость песчаных грунтов при изготовлении свай по разрядно-импульсной технологии (РИТ) // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 150—163.
11. Еремин В. Я., Еремин А. В. Высотным зданиям — надежный фундамент. Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях // Труды международной конференции к 50-летию БашНИИСтроя. 2006. Т. 3. Уфа, 2006. С. 69—75.
12. Gambin M., Guinment P. Consolidation dynamique et construction en zones de décharge // Revue Française de Geotechnique. No. 14. Pp. 97—101.
13. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. On the use of RITA pile technique in Tunisia // Fourth International Conference on New developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Pp. 1—9.
14. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. Use of Recharge Impulse Technology in Deep Foundations Set-up // Advances in Engineering Research. Proceedings of the Second International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering. 2017. Vol. 102. Pp. 259—263.

15. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. Loaded Recharge Impulse Technology (RIT) Piles // Proceedings of the fourth international conference on geotechnical engineering. New Developments in Geomechanics and Georisk Hammamet (Tunisia). 2020. Pp. 95—97.
16. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. Shaft Capacity Assessment of Recharge Impulse Technology Piles // New Prospects in Geotechnical Engineering Aspects of Civil Infrastructures. Geo-China. 2018. Pp. 151—163.
17. Еремин В. Я., Знаменский В. В., Харин Ю. И., Юдина И. М. Результаты испытаний свай-РИТ вертикальной статической нагрузкой в условиях слабых грунтов прибрежной части г. Туниса // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 62—68.
18. Харин Ю. И., Отенна Х. Использование прессиометра Менара при расчете свай с вытеснением грунта // Перспективы науки. 2001. № 3. С. 185—190.
19. Kharin Y. Possibility of using RIT technology in the ground conditions of Vietnam // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 177. Pp. 30—36.

© Харин Ю. И., Махова С. И., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Харин Ю. И., Махова С. И. Оптимальные варианты применения свайных фундаментов в Волгограде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 45—53. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_45.

Об авторах:

**Харин Юрий Иванович** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. механики грунтов и геотехники, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; 9651388552@mail.ru

**Махова Светлана Ивановна** — канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

**Yuriy I. Kharin<sup>a</sup>, Svetlana I. Makhova<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Moscow State University of Civil Engineering*

<sup>b</sup> *Volgograd State Technical University*

## OPTIMAL OPTIONS FOR THE USE OF PILE FOUNDATIONS IN VOLGOGRAD

The problems of construction of multi-storey buildings in difficult ground conditions of Volgograd are considered. Using the example of the experience of building buildings on super piles using discharge pulse technology in Moscow and Tunisia, MPO RITA LLC evaluates the economic feasibility of using this high-tech technology in the construction of residential buildings in Volgograd.

**Key words:** problematic soils of Volgograd, bored piles, piles using discharge pulse technology, displacement pile “Fundex”.

*For citation:*

Kharin Yu. I., Makhova S. I. [Optimal options for the use of pile foundations in 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], 2024, iss. 2, pp. 45—53. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_45.

*About authors:*

**Yuriy I. Kharin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russian Federation; 9651388552@mail.ru

**Svetlana I. Makhova** — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

УДК 625.73

**С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, Л. М. Лескина, И. И. Глазунов**

**Волгоградский государственный технический университет**

### **ПРОИЗВОДСТВО АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОНА НА АБЗ**

При выполнении ремонтных работ на улично-дорожной сети производится фрезерование асфальтобетонного покрытия. В настоящее время существует целесообразность повторного использования асфальтогранулята. В статье приведены физико-механические характеристики асфальтогранулята, прочностные свойства асфальтогранулобетона, рекомендации по производству асфальтогранулобетонной смеси на асфальтобетонных заводах по горячей технологии.

**Ключевые слова:** ремонт, дорожное покрытие, асфальтогранулят, асфальтогранулобетонная смесь, асфальтогранулобетон, асфальтобетонный завод.

До 80 % объема финансирования городского дорожного хозяйства г. Волгограда приходится на ремонт улично-дорожной сети (УДС). Основным материалом для ремонта проезжей части являются асфальтобетонные смеси, стоимость которых составляет 3...3,5 тыс. руб./т. Последняя ежегодно увеличивается на 3...19,4 % из-за роста цен на энергоносители, материалы и логистику. Резервом для снижения стоимости ремонтных работ до 20 % является использование асфальтогранулята (АГ), получаемого путем фрезерования дорожного покрытия<sup>1</sup> (рис. 1) [1—5].



Рис. 1. Фрезерование дорожного покрытия на пр. Университетский, Волгоград

<sup>1</sup> ОДМ 218.6.1.005—2021. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. М., 2021. 38 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741135>.

ОС-568-р. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. М., 2002. 25с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030849>.

ГОСТ 55052—2012. Гранулят старого асфальтобетона. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2013. 61 с.

НСТ 244—2019. Переработанный асфальтобетон (RAP). Технические условия. М. : Стандартинформ, 2011. 22 с.

Объем АГ, получаемого при ремонте дорог Волгограда, составляет 100...150 тыс. т/год, что позволяет отремонтировать 940...1470 тыс. м<sup>2</sup> покрытия. Технология повторного использования АГ нашла применение в РФ и за рубежом, где объем асфальтогранулобетона (АГБ) составляет 20...30 % от общего количества выпускаемых смесей, доля гранулята в составе обновленных смесей достигает 80 %<sup>2</sup> [1—4, 6—10]. Повторное использование старого асфальтобетона в дорожном покрытии возможно по «горячей» и «холодной» технологиям. Холодная технология предполагает получение обновленной асфальтобетонной смеси на объекте или асфальтобетонном заводе (АБЗ) без нагрева исходных материалов<sup>3</sup> [6, 12]. Холодная переработка старого асфальта при ремонте городских дорог путем его ресайклирования на объекте невозможна из-за наличия на проезжей части бордюров и ливневой канализации. Кроме того, движение крупногабаритных ресайклеров в стесненных условиях городской застройки и сложной конфигурации УДС затруднено. Производство асфальтогранулобетонных смесей (АГБС) на АБЗ по холодной технологии не позволяет полностью восстановить свойства асфальтобетонных смесей и ограничивает их применение в покрытиях автомагистралей [1, 3]. Сравнительный анализ физико-механических свойств АГБС показывает преимущества смесей, приготовленных по горячей технологии на АБЗ (рис. 2, 3).

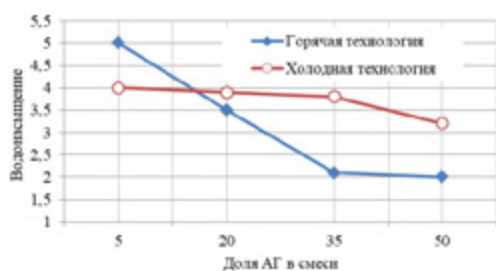


Рис. 2. Водонасыщение АГБС

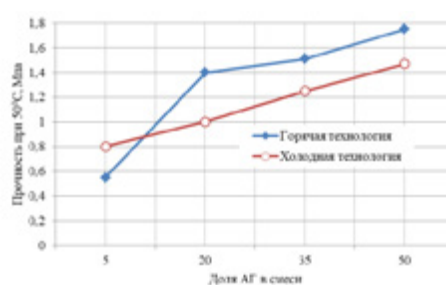


Рис. 3. Прочность АГБС при 50 °С

Производственный опыт и анализ свойств АГБ, приготовленных на АБЗ по горячей технологии, позволяет сделать следующие выводы:

- снижение показателей водонасыщения АГБ можно объяснить тем, что в АГ уже содержатся зерна, обработанные вяжущим. По данным А. С. Колбановской [13], в процессе поликонденсации возрастает адсорбция битума, по мере старения асфальтобетона увеличивается вязкость битума и прочность, что способствует увеличению водостойкости. Следует отметить более интенсивное повышение водостойкости АГБ при предварительном прогреве АГ;
- с увеличением количества АГ наблюдается снижение показателей предела прочности АГБ при сжатии при 0 °С и трещиностойкости. Это связано с увеличением количества состарившегося вяжущего в асфальтобетоне;

<sup>2</sup> СТБ 1705—2006. Асфальтогранулят для транспортного строительства. Технические условия. Минск, 2006. 36 с. URL: <https://stroystandart.info/index.php?name=files&op=view&id=3910>.

Асфальтобетон с использованием асфальтогранулята. URL: <http://www.uadso.ru/news/technews/182/187>.

<sup>3</sup> Там же.

- увеличение количества гранулята ведет к падению коэффициента внутреннего трения. Наблюдается повышение показателя коэффициента сцепления при сдвиге АГБС при температуре 50 °С в результате повышения вязкости битума за счет объединения нового и старого вяжущего;

- с увеличением количества АГ наблюдается возрастание показателя предела прочности при сжатии при температурах 20 и 50 °С. Для асфальтобетонных смесей с горячей подачей асфальтогранулята характерны более высокие значения физико-механических показателей, что обусловлено лучшей обволакиваемостью и однородностью в процессе перемешивания.

Восстановленная горячая смесь соответствует требованиям ГОСТ 9128—2013 к асфальтобетонам<sup>4</sup> и позволяет использовать АГБС в нижних слоях дорожного покрытия<sup>5</sup>.

При проектировании слоев дорожного покрытия важно знать расчетные прочностные характеристики АГБ. Модуль упругости АГБ ( $E_y$ ) зависит от температуры покрытия ( $T$ ) и типа вяжущего, используемого при восстановлении свойств смеси<sup>6</sup> [5]:

$$E_y = AT^2 + BT + C, \quad (1)$$

где  $A, B, C$  — коэффициенты уравнения, принимаются по табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения (1)

Тип АГБ	Значение коэффициентов			Тип вяжущего
	$A$	$B$	$C$	
Э, В	95,179	1077,4	3509	Битумная эмульсия, вспененный битум
Б	80,357	918,79	2992	Разогретый битум

Среднее значение сопротивления растяжению АГБ при изгибе  $R_n$  зависит от модуля упругости  $E_y^0$  при температуре покрытия 0 °С (рис. 4).

<sup>4</sup> ГОСТ 9128—2013. Смесей асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108509>.

<sup>5</sup> СТО НОСТРОЙ 2.25.35—2011. Строительство оснований с использованием асфальтобетонного гранулята. М.: БСТ, 2012. 22 с.

СТО АВТОДОП 2.7—2016. Применение асфальтогранулята в асфальтобетонных смесях и конструктивных слоях дорожной одежды. Технические условия. М., 2016. 29 с. URL: [https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2020/01/sto-2.7-2016\\_rap-use-standard\\_autodor.pdf](https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2020/01/sto-2.7-2016_rap-use-standard_autodor.pdf).

<sup>6</sup> ОДМ 218.6.1.005—2021. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. М., 2021. 38 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741135>.

ОС-568-р. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. М., 2002. 25 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030849>.

СТО АВТОДОП 2.7—2016. Применение асфальтогранулята в асфальтобетонных смесях и конструктивных слоях дорожной одежды. Технические условия. М., 2016. 29 с. URL: [https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2020/01/sto-2.7-2016\\_rap-use-standard\\_autodor.pdf](https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2020/01/sto-2.7-2016_rap-use-standard_autodor.pdf).



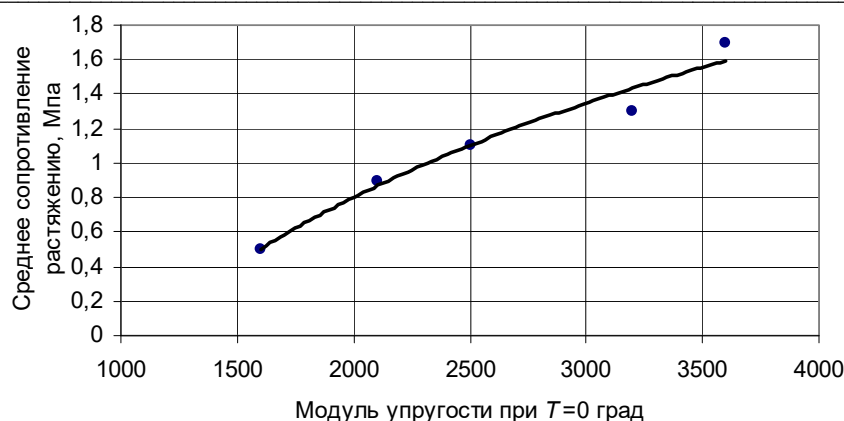


Рис. 4. Зависимость сопротивления растяжению от модуля упругости материала

Анализ исследований [1—3] позволил выделить особенности производства АГБС на АБЗ. Горячая переработка АГ имеет следующие преимущества:

- возможность постоянного контроля качества компонентов смеси;
- регулирование рецептуры смеси с учетом состава используемого гранулята;
- возможность использования до 80 % АГ без снижения рецептурных свойств новой асфальтобетонной смеси.

К недостаткам горячей переработки АГ следует отнести:

- дополнительные затраты на перевозку АГ с объекта на АБЗ;
- высокая энергоемкость сушки и нагрева компонентов асфальтобетонной смеси;
- наличие канцерогенных углеводородов и минеральной пыли в дымовых выбросах.

При организации выпуска горячих смесей на АБЗ следует учитывать, что в процессе длительного хранения на открытых площадках АГ увлажняется атмосферными осадками и постепенно теряет свои свойства в результате испарения легких фракций вяжущего. Повышенная влажность материала требует дополнительных энергозатрат на его сушку и нагрев до 120...225 °С. Энергозатраты на приготовление АГБС в установке соответственно увеличиваются на 20...85 %. Поэтому хранить АГ следует под навесами в конусах высотой до 2 м. Производство АГБС на заводах практически не отличается от технологии выпуска стандартных асфальтобетонных смесей, однако имеет ряд особенностей. Температура нагрева минеральных материалов ( $T_M$ ) зависит от температуры готовой смеси на выходе ( $T_C$ ), доли АГ ( $\alpha$ ) и влажности минеральной части ( $W$ ):

$$T_M = 4,79 \cdot T_C^{0,872} \cdot \alpha^{0,317} \cdot W^{0,02} \quad (2)$$

Увеличение доли АГ с 10 до 50 % требует увеличения температуры нагрева минеральной части от 120 до 210 °С.

На объектах дорожного хозяйства эксплуатируются преимущественно асфальтосмесительные установки циклического действия компаний России, Украины, Германии, Италии, Испании, Финляндии, Китая и др. [3, 4].

Их количество в структуре парка асфальтосмесительного оборудования превышает 90 %. В настоящее время для России целесообразна модернизация установок циклического действия для реализации технологии заводского производства асфальтобетонных смесей с использованием АГ. Преимущество данной технологии заключается в возможности применения существующих асфальтосмесительных установок без их значительного переустройства.

Приготовление АГБС с добавлением разогретого битума производится путем подачи АГ в срединную часть сушильного барабана (рис. 5) или с использованием сдвоенного сушильного барабана (рис. 6).

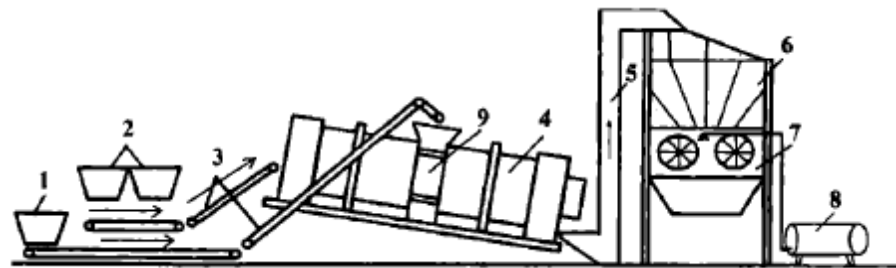


Рис. 5. Технологическая схема приготовления АГБС с подачей АГ в среднюю часть сушильного барабана: 1 — асфальтовый гранулят; 2 — новые минеральные материалы; 3 — транспортер; 4 — сушильный барабан; 5 — элеватор; 6 — сортировочный грохот; 7 — смеситель; 8 — битум; 9 — кольцо рецилинга

Наиболее распространена в производственной практике переработка с добавлением гранулята в асфальтобетонную смесь в количестве до 30 % путем подачи в среднюю часть сушильного барабана. Такое оборудование выпускают ведущие зарубежные производители Benninghoven, Amomatic, Bernardi и др. Полученные при этом смеси, как правило, характеризуются высокой неоднородностью и ухудшением технологических свойств за счет использования старого битума в АГ.

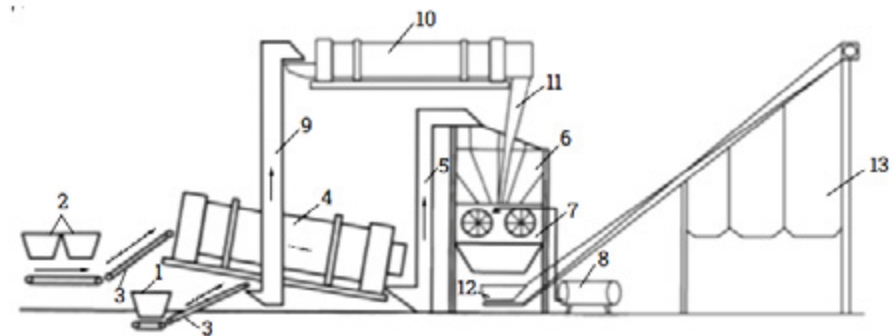


Рис. 6. Технологическая схема приготовления АГБС с использованием сдвоенного сушильного барабана: 1 — бункер-питатель гранулята; 2 — бункеры-питатели новых минеральных материалов; 3 — транспортеры; 4 — основной сушильный барабан; 5 — горячий элеватор; 6 — сортировочный грохот; 7 — смеситель; 8 — цистерна битума; 9 — элеватор подачи гранулята; 10 — сушильный барабан для гранулята; 11 — лоток подачи гранулята; 12 — скиповый подъемник; 13 — накопительный бункер

Добавление АГ приводит к снижению подвижности и уплотняемости асфальтобетонной смеси, к ухудшению прочностных и деформационных свойств асфальтобетона. Снижается срок службы асфальтобетона по критерию усталостной повреждаемости [14]. Наиболее резкое снижение усталостной повреждаемости наблюдается у образцов с содержанием асфальтогранулята более 20 % (рис. 7). Одной из причин снижения долговечности асфальтобетона является недостаточная активность используемого АГ, т. е. способность вяжущего в его составе образовывать после нагрева и последующего остывания прочные связи, выдерживающие многократную транспортную нагрузку.

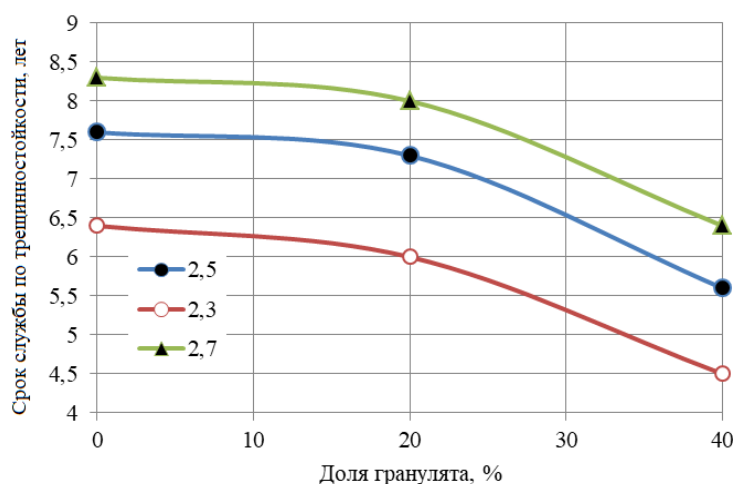


Рис. 7. Влияние гранулята на долговечность асфальтогранулобетона

Дополнительный нагрев при приготовлении смесей еще более интенсифицирует процессы старения вяжущего, находящегося на поверхности минеральных зерен в тонких пленках. При этом происходит и более интенсивное выделение выбросов вредных веществ (оксидов азота, углерода, оксида и диоксида серы и т. д.), которые не улавливаются системой очистки отходящих газов (рис. 8). Количество выбросов зависит от температуры материалов при их нагреве в сушильном барабане.

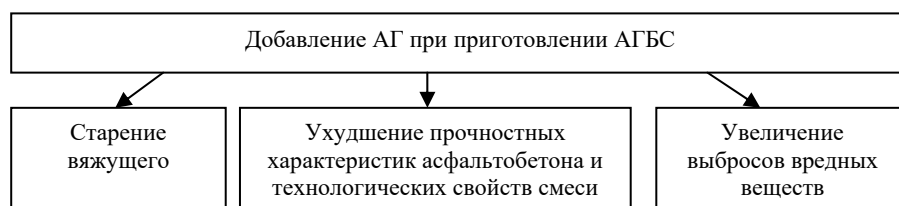


Рис. 8. Влияние гранулята на свойства асфальтогранулобетона

Улучшить свойства асфальтобетона возможно за счет дробления и сортировки гранулята, а также за счет применения специальных добавок ПАВ, позволяющих регулировать свойства вяжущего на поверхности асфальтовых гранул [2, 14, 15]. Так как гранулят получается путем фрезерования старого

покрытия, он имеет однородно измельченную массу. Поэтому совершенствование технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением гранулята возможно за счет введения комплексных добавок ПАВ, обеспечивающих улучшение технологических свойств (удобоукладываемость, уплотняемость) асфальтобетонных смесей и физико-механических свойств асфальтобетона (рис. 9).

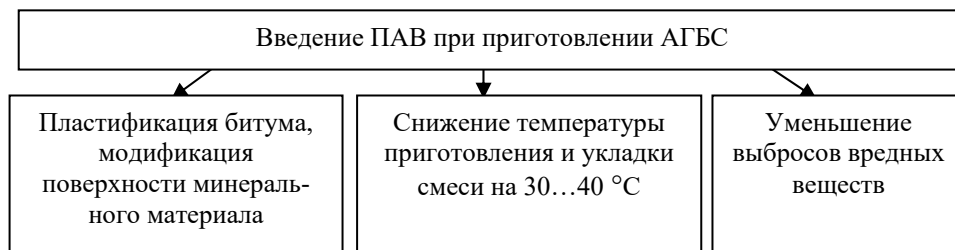


Рис. 9. Влияние добавок ПАВ на свойства АГБС

Использование добавок позволяет уменьшить температуру приготовления и укладки смесей, что положительно влияет на свойства битума и снижает выбросы вредных веществ [2].

В процессе приготовления АГБС образуются мономолекулярные слои ПАВ на поверхности битумных пленок, покрывающих минеральные зерна и частицы гранулята, а также на необработанных битумом поверхностях минерального материала (рис. 10). Это приводит к снижению прочности коагуляционных и фазовых контактов, улучшению деформационных свойств, повышению адгезии вяжущего и водостойкости асфальтогранулобетона. Улучшение технологических свойств при введении добавок ПАВ позволяет уменьшить температуру приготовления смеси, сократить количество выбросов и обеспечить требуемое качество уплотнения смеси в покрытии. Результаты исследований [1, 2] свидетельствуют о том, что применение таких добавок, как Evoterm J-1, Rediset WMX, ССBit 113 AD, ДАД-1 и др., улучшает водостойкость асфальтобетона и оптимизирует его прочностные показатели (рис. 11, 12). Это объясняется образованием развитого ориентированного мономолекулярного слоя на поверхности минеральных частиц и асфальтовых гранул, а как следствие — уменьшением трения между ними при уплотнении.



Рис. 10. Распределение ПАВ по поверхности битумных пленок на зернах минеральной части смеси и гранулята

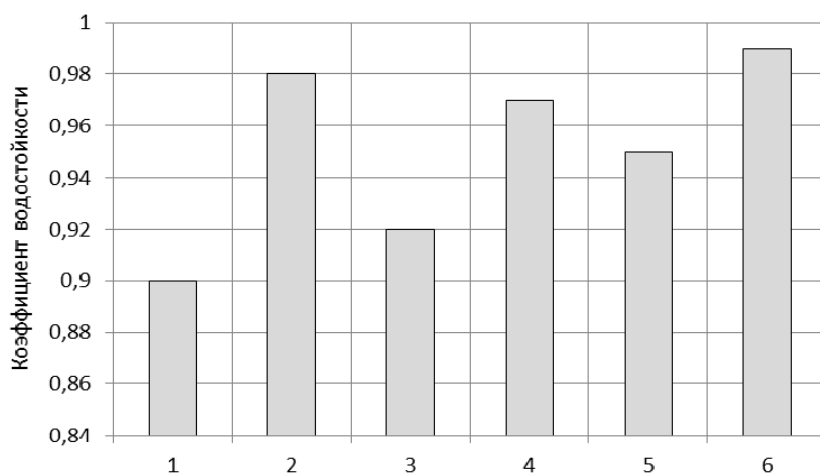


Рис. 11. Коэффициентов водостойкости для АГБ: 1 — без добавок; с добавками: 2 — Evoterm J-1; 3 — Rediset WMX; 4 — ДАД-1; 5 — «Адгезол 3-ТД»; 6 — Sylvaroad

Технологические свойства асфальтобетонной смеси с гранулятом и добавками в лабораторных условиях оценивались по ее уплотняемости при различных уплотняющих нагрузках. Данные исследований [1, 2] показывают, что введение добавок ПАВ в состав мелкозернистой асфальтобетонной смеси (рис. 13) с содержанием гранулята до 30 %, позволяет достичь заданной плотности при снижении температуры приготовления и уплотнения смеси.

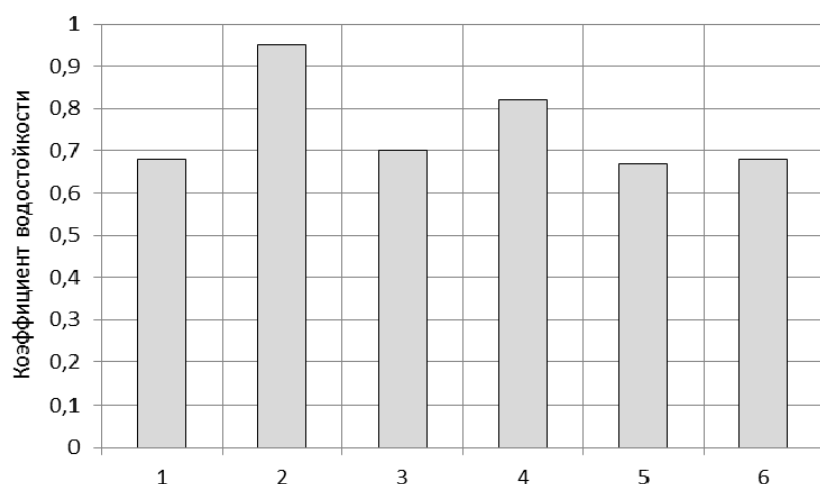


Рис. 12. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении для АГБ: 1 — без добавок; с добавками: 2 — Evoterm J-1; 3 — Rediset WMX; 4 — ДАД-1; 5 — Адгезол 3-ТД; 6 — Sylvaroad RP1000

Опыт АБЗ Москвы, Санкт-Петербурга, других регионов России подтвердил, что при использовании различных вариантов подачи гранулята в смесительную установку, лучшие результаты получают при его добавлении в дробленом виде в количестве 15...30 % от массы регенерированной смеси [2—4]. На АБЗ-4 «Капотня» (Москва) реализована технология с установкой

дополнительного барабана (рис. 14), обеспечивающая качественное приготовление АГБС при высоком содержании гранулята.

Следует отметить, что в ряде моделей асфальтосмесительных установок непрерывного действия подача дробленого гранулята при приготовлении асфальтобетонной смеси может достигать 50...70 % от массы регенерированной смеси, что больше, чем при применении установок циклического действия [3].

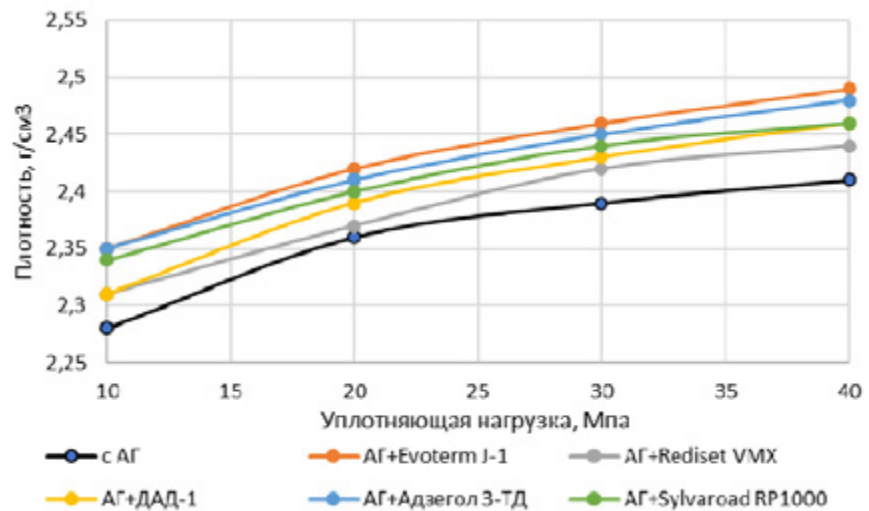


Рис. 13. Зависимость плотности АГБС от уплотняющей нагрузки ( $t = 100...110$  °С)



Рис. 14. Асфальтосмесительная установка циклического действия со сдвоенным сушильным барабаном, АБЗ-4 «Капотня», Москва

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Резервом снижения стоимости ремонта городских магистралей Волгограда является использование переработанного старого асфальтобетона, получаемого в виде АГ после фрезерования дорожного покрытия. Объем АГ на объектах города составляет 100...150 тыс. т/год.
2. Назрела необходимость в производстве горячих АГБС на АБЗ города.
3. Возможно производство АГБС с добавлением гранулята до 30 % на установках циклического действия без значительного переустройства технологического оборудования. Для повышения качества смесей эффективно использование добавок Evoterm J-I, Rediset WMX, ССВит 113 AD, ДАД-1 и др., способствующих снижению температуры смеси на 30...40 °С, повышению удобоукладываемости и уплотняемости смесей, водостойкости и прочности асфальтобетона, снижению вредных выбросов в окружающую среду.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черных Д. С., Строев Д. А., Задорожный Д. В., Горелов С. В. Оценка влияния количества асфальтогранулята и технологии его подачи на свойства приготавливаемых асфальтобетонных смесей // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4(27). С. 196.
2. Гладышев Н. В. Совершенствование технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением гранулята старого асфальтобетона: автореф. дис... к. т. н. М., 2015. 24 с.
3. Лупанов А. П., Силкин В. В. Повторное использование асфальтобетона на АБЗ: монография. М. : Экон-Информ, 2019. 191 с.
4. Повторное использование гранулята старого асфальтобетона / А. П. Лупанов, Н. В. Гладышев, А. В. Силкин, В. В. Силкин, В. В. Рудакова // Дороги России. 2018. № 1(103). С. 100—107.
5. Алексиков С. В., Бударудинова А. Н. Использование фрезерованного асфальтобетона для укрепления обочин автомобильных дорог // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. 2012. Вып. 7. С. 40—45.
6. Бахрах Г. С. Свойства асфальтогранулобетона (АГБ) — продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием // Науч.-техн. информ. сб. Вып. 12. М. : Информавтодор, 1999. 32 с.
7. M VAG. Руководство по применению асфальтобетонной крошки. FGSV Verlag, Кельн, 2000.
8. Epps J. A., Terrel R. L., Little D. N., Holmgreen R. J. Guidelines for recycling asphalt pavements // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1980. Vol. 49. Pp. 144—176.
9. Symposium Recycling of Asphalt Pavement // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1997. Vol. 49. Pp. 685—802.
10. Kanhal P. S., Mallick R. B. Development of Rational and Practical Mix Design System for Full Depth Reclaimed (FDR) Mixes // University of New Hampshire. Final Report. 2002. Pp. 1—103.
11. Wilson G., Williams G. Pavement bearing capacity computed by theory of layered systems // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1950. Vol. 76. No. 16. Pp. 85—98.
12. Сюньи Г. К., Усманов К. Х., Файнберг Э. С. Регенерированный дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт, 1984. 118 с.
13. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М. : Транспорт, 1973. 263 стр.
14. Игошкин Д. Г., Кравченко С. Е. Активность асфальтогранулята — фактор, определяющий эффективность его применения в асфальтобетонных смесях // Автомобильные дороги и мосты. 2016. № 2(18). С. 67—70.
15. Штабинский В. В., Скворцов Е. А., Гракович Д. П. Исследования агрегатного и зернового состава асфальтогранулята // Автомобильные дороги и мосты. 2008. № 2. С. 68—72.

© Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Лескина Л. М., Глазунов И. И., 2024

Поступила в редакцию  
в январе 2024 г.

*Ссылка для цитирования:*

Производство асфальтогранулобетона на АБЗ / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, Л. М. Лескина, И. И. Глазунов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 54–64. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_54.

*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

**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

**Гофман Дмитрий 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; obsov2012@mail.ru

**Лескина Лейла Муаз** — аспирант каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая; leylamuaz@yandex.ru

**Глазунов Илья Игоревич** — инженер каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; glazunov.i@list.ru

**Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman, Leila Muaz Leskina, Ilya I. Glazunov**

*Volgograd State Technical University*

## PRODUCTION OF RECLAIMED ASPHALT CONCRETE AT A PLANT

When performing repair work on the road network, the asphalt concrete pavement is milled. Currently, it is advisable to reuse reclaimed asphalt pavement. This article provides the physical and mechanical characteristics of reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregates, the strength properties of RAP mixtures, recommendations for the production of RAP mixtures at asphalt concrete plants using hot technology.

**Key words:** repair, road surface, asphalt granulate, asphalt granulated concrete mix, asphalt granulated concrete, asphalt concrete plant.

*For citation:*

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Leskina L. M., Glazunov I. I. [Production of reclaimed asphalt concrete at a plant]. *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], 2024, iss. 2, pp. 54–64. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_54.

*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

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

**Dmitrii I. Gofman** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; obsov2012@mail.ru

**Leila Muaz Leskina** — Postgraduate Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya str., Volgograd, 400074, Russia; leylamuaz@yandex.ru

**Ilya I. Glazunov** — Engineer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; glazunov.i@list.ru



УДК 656.1

**И. М. Вилкова<sup>а</sup>, С. В. Витолин<sup>б</sup>, В. С. Волков<sup>б</sup>, М. М. Девятков<sup>б</sup>,  
А. В. Сидоренко<sup>б</sup>, И. Н. Шевченко<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> ООО «Учебно-научно-производственное предприятие АСПЕКТ»

<sup>б</sup> Волгоградский государственный технический университет

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОБОСНОВАННОГО ИНФОРМАЦИОННО-ЭСТЕТИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ТАКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НУЛЕВОЙ ПРОДОЛЬНОЙ МАГИСТРАЛИ В ВОЛГОГРАДЕ**

Сформулированы целевые подходы и принципы модернизации Нулевой Продольной магистрали в Волгограде как единого ансамблевого комплекса, обладающего целенаправленным информационно-эстетическим, технологическим воздействием на участников движения. Для этого использовано принудительное воздействие на режимы и траекторию движения транспортных средств посредством специальных планировочных решений и системы доминантных архитектурных элементов.

**Ключевые слова:** дорожная инфраструктура, эффективное информационное поле, безопасность движения, эстетика, архитектура.

В «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»<sup>1</sup>, принятой в 2021 г., и ряде других стратегических документов указывается на то, что гражданам страны должно быть обеспечено повышение качества жизни в части, зависящей от транспортного комплекса. Это планируется достигнуть, в т. ч. за счет повышения транспортной доступности туристских и культурных центров, качества транспортных услуг, комфортности и безопасности перевозок, т. к. в крупнейших российских агломерациях на автомобильный транспорт приходится более 75 % дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими.

Отмечена необходимость совершенствования дорожных условий и дорожной инфраструктуры в части повышения безопасности дорожного движения за счет малозатратных, но эффективных мероприятий. К таким мероприятиям относится создание эффективного информационного поля на автомобильной дороге и в придорожной зоне с использованием методов формирования архитектурно-эстетического облика дороги и мер принудительного воздействия на участников движения для повышения удобства и безопасности движения.

Как сформулировано в выполненных ранее исследованиях, под эффективным информационным полем на автомобильной дороге и в придорожной зоне предлагается понимать информационное поле, сформированное на основе определения целевых установок, методов и способов их достижения, системы объективных критериев их оценки, направленных на достижение высокого уровня удобства и безопасности дорожного движения. При этом сами воздействия исходят от обоснованно выбранных и расположенных элементов дороги и придорожной среды [1].

<sup>1</sup> Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda>.

Воспользуемся этой методикой<sup>2</sup> [2—6] для формирования воздействия на участников дорожного движения на строящейся в Волгограде Нулевой Продольной магистрали общей протяженностью около 28 км по Генеральному плану г. Волгограда<sup>3</sup>.

План-схема Нулевой Продольной магистрали как природно-технической системы дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной зоны Волгограда, включающей в себя основные волгоориентированные транспортно-пересадочные и транспортно-рекреационные узлы, и ее наиболее крупные объекты притяжения предложены и описаны авторами ранее [6] и использованы в данных исследованиях.

По состоянию на 01.04.2023 г. запроектировано, построено и эксплуатируется 6,5 км этой важнейшей дороги, в значительной степени формирующей внешний облик и технологическое пространство для жителей и гостей города-героя Волгограда (рис. 1).



Рис. 1. План-схема построенного и эксплуатируемого участка Нулевой Продольной магистрали в Волгограде по состоянию на 01.04.2023 с местоположением на нем дорожных объектов с низким уровнем информационно-эстетических и технологических потребительских свойств

На этапах дальнейшего проектирования и строительства магистрали важно оценить соответствие эксплуатируемого участка запросам пользователей. Воспользуемся теоретическими и методологическими подходами, разработанными в ИАиС ВолгГТУ [1—3, 6], в том числе методом экспертных оценок [7—9]. Ранее сформирована экспертная группа, в состав которой вошли представители:

- муниципального самоуправления, региональной администрации;
- специалисты дорожных проектных и эксплуатационных предприятий;
- архитекторов и инженеров-проектировщиков;
- водителей и пешеходов;
- маломобильных участников движения.

Экспертной группой на основе анализа большого количества потребительских свойств (ПС), сформированных в результате исследований в ИАиС ВолгГТУ [9, 10], определен перечень информационно-эстетических и технологических ПС для **укрупненной оценки** этих свойств на Нулевой Продольной магистрали в Волгограде (табл. 1).

<sup>2</sup> ВСН 18—84. Указания по архитектурно-ландшафтному проектированию автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1985. С. 47.

<sup>3</sup> Об утверждении Генерального плана Волгограда. Решение Волгоградской городской думы от 29.06.2007 №47/1112. URL: <https://vlg.gov.ru/doc/12756>.

Т а б л и ц а 1

*Перечень информационно-эстетических и технологических ПС  
 для оценки Нулевой Продольной магистрали*

**Информационно-эстетические потребительские свойства (ИЭ ПС)**

Целевые показатели, Ц	Критериальные показатели, К	Оценочные показатели, О
Визуально-ориентирующее воздействие	Зрительная ясность и зонирование дороги	Наличие и ориентирующий уровень доминантных элементов
	Непрерывность визуального ориентирования	Наличие и уровень распознавания придорожных элементов, обеспечивающих непрерывность визуальной ориентации в направлении движения для водителя
Визуально-информационное воздействие	Легкая узнаваемость информационных элементов	Уровень узнаваемости символов на информационных элементах
		Быстрота распознавания информации (символьной или буквенной, словесной)
		Уровень соответствия формы элементов визуальной ориентации требованиям движения
Мировоззренческое воздействие — своеобразие придорожной полосы	Местные достопримечательности	Наличие архитектурного мотива дороги и элементов обустройства
		Уровень использования местных достопримечательностей в обустройстве дороги и ее элементах
	Исторический контекст	Наличие (количество) исторических деталей в составе обустройства дорог, улиц и их элементов (площади, свободные территории)
		Географическая и этнокультурная идентичность прилегающей местности
Количество элементов, идентичных прилегающей местности		

**Технологические потребительские свойства (ТПС)**

Безопасность движения для всех участников транспортного процесса	Аварийность (типы ДТП, тяжесть ДТП)	Риск ДТП
		Риск гибели в ДТП
		Риск велосипедистов и пешеходов попасть в ДТП
	Скоростные ограничения для транспортных потоков	Коэффициент безопасности
		Риск нарушения скоростного режима ( $V_{50}$ , $V_{85}$ , $V_{max}$ )
	Ситуационные ограничения для транспортных потоков	Количество и частота возникновения конфликтных ситуаций на линейных участках дорог
Уровень безопасности пересечений		
Возможность подъезда к прилегающим к дороге объектам	Возможность парковки	Количество и степень загрузки парковок
		Удобство и безопасность въезда и выезда с парковки
	Качество остановок общественного транспорта	Расположение и удобство доступа
		Оформление и оснащение
Наличие расписания		

Для каждого показателя ПС уровень соответствия фактического и сравнительного состояния ПС определялся частным коэффициентом обеспеченности достижения оценочных показателей ПС ( $O_{xyij}$ ), который устанавливается по отношению уровней фактических ( $Y_{\text{ФПС}}$ ) и сравнительных ( $Y_{\text{СПС}}$ ) ПС:

$$O_{xyij} = \frac{Y_{\text{ФПС}}}{Y_{\text{СПС}}}. \quad (1)$$

На следующем этапе уровень обеспеченности достижения критериальных показателей ПС ( $K_{xyi}$ ) определяем по формуле:

$$K_{xyi} = \sum_{j=1}^p (O_{xyij} \cdot m_{xyij}), \quad (2)$$

где  $O_{xyij}$  — уровень обеспеченности (соответствия) достижения оценочных параметров ПС;  $m_{xyij}$  — масштабность воздействия частных параметров ПС на конкретные группы потребителей.

Уровень обеспеченности (соответствия) достижения целевых показателей ПС ( $\Pi_{xy}$ ) определяем, учитывая различную значимость (вес) этих показателей:

$$\Pi_{xy} = \sum_{i=1}^m (K_{xyi} \cdot \alpha_{xyi}), \quad (3)$$

где  $\alpha_{xyi}$  — весомость показателей соответствующей группы ПС ( $x$ ) на соответствующем целевом уровне ( $y$ ) на соответствующем уровне ( $i$ ) критериальных ПС.

При этом интегральная оценка информационно-эстетических и технологических ПС участков Нулевой Продольной магистрали выполняется в соответствии с методикой, разработанной и описанной подробно в [9, с. 101—103, 144—160].

В результате оценки установлен ряд участков и элементов с низким уровнем ПС. Перечень, причины низкого уровня ПС этих объектов и их местоположение представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2

*Перечень дорожных объектов на Нулевой Продольной магистрали с низким уровнем информационно-эстетических и технологических ПС*

№ на рис. 1	Наименование дорожного объекта	Общая характеристика причин низкого уровня ПС
1	Остановки общественного транспорта в попутном и встречном направлении	Однообразие остановочных павильонов. Отсутствие малых архитектурных форм
1.1	«Академия физкультуры»	
1.2	«Стадион Волгоград-Арена»	
1.3	«ЦПКиО»	
1.4	«Речпорт»	
1.5	«Музей Россия — Моя история»	

№ на рис. 1	Наименование дорожного объекта	Общая характеристика причин низкого уровня ПС
2	Выезд с прилегающей территории парковки смотровой площадки под Волгоградским мостом	Наличие смертельных ДТП из-за злоупотребления водителями прямолинейным участком дороги, пренебрежения ПДД и развития превышающих скоростей
3	Примыкание ул. им. Землянского	Увеличенное количество ДТП, острый угол примыкания к дороге с большой интенсивностью, неудобство пользования из-за ограниченного обзора
4	Примыкание ул. 7-й Гвардейской	Большая интенсивность 4-полосной дороги, неудобство поворотных маневров (разворота и подъема с рокадной дороги на ул. 7-й Гвардейской), острый угол примыкания
5	Выезд с прилегающей территории парковки у памятника бронекатеру БК-31	Плохая видимость транспортных средств, из-за дорожного ограждения, установленного вдоль Нулевой Продольной магистрали
6	Существующее кольцевое пересечение	Отсутствие доминантных объектов, выделяющих кольцевое пересечение
7	Съезд ул. им. Калинина	По проекту планируется строительство продолжения Нулевой Продольной магистрали — подъезда к областному Арбитражному суду, что повлечет неудобство движения при спуске с ул. им. Калинина на рокадную дорогу

Таким образом, на основании экспертной оценки эксплуатируемого участка установлены дорожные объекты, требующие разработки и внедрения мероприятий, направленных на повышение информационно-эстетических и технологических ПС. Представляется целесообразной выработка целевых подходов к проектированию Нулевой Продольной магистрали как единого протяженного объекта с соблюдением определенной логики и системности, для создания единого ансамблевого комплекса, наполненного целенаправленным информационно-эстетическим, визуально-ориентирующим, технологическим и экологическим воздействием на участников движения.

Подробная методика формирования архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги для повышения удобства и безопасности движения изложена в ранее опубликованных работах авторов [1, 3, 6, 9].

В соответствии с этой методикой сформулируем целевые подходы и основные принципы проектирования и модернизации Нулевой Продольной магистрали. При этом следует обратить внимание на ряд принципов и положений [11—18].

Во-первых, одновременное зрительное восприятие всей дороги невозможно, поскольку длина дороги почти всегда неопределенно велика по сравнению с шириной. Образ дороги складывается из суммы отдельных впечатлений, возникающих в процессе поездки. Поэтому может быть сформирован целостный или разнородный многоплановый вид процесса восприятия дороги.

Во-вторых, выбор вида формирования процесса восприятия зависит от заданной целевой функции, формируемой в соответствии с предложенной логической моделью (табл. 3). При этом создание на дороге или ее отдельных частях архитектурно оправданных композиций должно базироваться на разбивке дороги на отдельные участки, архитектурно замкнутые пространства — *архитектурные бассейны*.

В-третьих, выбираемая целевая функция или характер воздействия на водителей и участников движения определяется по результатам анализа статистики аварийности, аудита безопасности и удобства движения. С учетом этого анализа определяется вид технологического и характер мировоззренческого воздействий. На основе обобщения этих разносторонних видов анализа формируется архитектурный мотив дороги (при формировании ее целостного восприятия) или отдельных архитектурных бассейнов дороги (разнородное многоплановое восприятие).

При этом под *архитектурным мотивом* дороги или отдельного архитектурного бассейна авторы предлагают понимать основные художественные образы, используемые как в конфигурации, так и в содержательной части элементов обустройства и архитектурного оформления, характерные для всей дороги в целом или ее отрезков.

В-четвертых, непрерывность визуального ориентирования в определенном направлении движения для водителей или пешеходов достигается в результате того, что они постоянно имеют перед глазами на дороге те или иные ориентиры, позволяющие однозначно определять местоположение. В качестве таких ориентиров помимо общепринятой символической информации могут использоваться определенные архитектурные элементы, малые архитектурные формы запоминающегося характера, указывающие направление дороги, служащие ее фирменным знаком. Для проведения такой работы предложена логическая модель зонирования Нулевой Продольной магистрали в Волгограде на архитектурные бассейны (см. табл. 3), что позволит определить характер доминантных объектов.

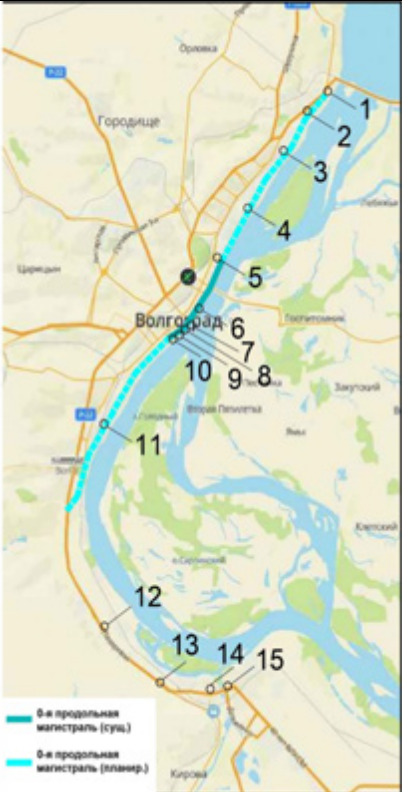
С учетом изложенного и на основе проведенного анализа прибрежной зоны предложены доминантные объекты для использования при выработке архитектурных мотивов (рис. 2).

Границы архитектурных бассейнов определяют с использованием логико-топографического и доминантного подходов. При этом учитывают, что архитектурные бассейны по своей протяженности делятся на отрезки эффективной с точки зрения восприятия длины (в зависимости от скорости и времени оптимального восприятия 3...10 мин) и определенного информационно-эстетического мотива. Мотив определяют с учетом технологических аспектов транспортного процесса (принудительное воздействие на режимы и траекторию движения транспортных потоков), характера и особенностей прилегающего пространства [1—3, 6, 9].

Для построенного к 2022 г. участку Нулевой Продольной магистрали более детально разработана схема формирования средств технологического и информационно-эстетического воздействия на участников дорожного движения (см. рис. 2, эскизы доминантных объектов предложены и разработаны авторами).

Т а б л и ц а 3

Логическая модель зонирования Нулевой Продольной магистрали в г. Волгограде  
 на архитектурные бассейны

Формирование общей схемы природно-технической системы дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной зоны Волгограда, включающей в себя основные волгоориентированные транспортно-пересадочные и транспортно-рекреационные узлы, наиболее крупные объекты притяжения	№ арх. басс.	Обоснование архитектурных бассейнов	
		Границы бассейнов с учетом плана трассы и особенностей прибрежной зоны	Обоснование и выбор архитектурного (информационно-эстетического) мотива
 <p>0-я продольная магистраль (суд.)</p> <p>0-я продольная магистраль (планир.)</p>	1	1—2	Энергия воды
	2	2—3	Трактор
	3	3—4	Металлург (Красный Октябрь)
	4	4—5	Курган
	5	5—6	Победа
	6	6—7	Сталинград
	7	7—8	Речники
	8	8—9	Река
	9	9—10	Беляна (Речпорт)
	10	10—11	Нефтяник
	11	11—12	Сарепта
	12	12—13	
	13	13—14	
	14	14—15	
	15	15—16	

Разработаны примеры по изменению планировочных решений примыканий, связывающих магистраль с улично-дорожной сетью Волгограда, а также въездов и выездов транспортных средств с зон парковок, расположенных вдоль магистрали. Предлагается устройство доминантных объектов, оказывающих ориентирующее действие, и описание информационно-эстетического облика прилегающей зоны.

Для выделения местоположения доминантных объектов, основных памятных объектов, а также мест принудительного воздействия на скоростной режим для ограничения его с точки зрения безопасности дорожного движения на этом участке магистрали авторами предложено устройство «звезд памяти».

Средства воздействия	Устройство доминанты в зоне остановки и пешеходного перехода	Устройство доминанты в зоне остановки и пешеходного перехода	Изменение схемы организации движения с устройством раздельного островка, переходных скоростных полос и доминантных элементов	Изменение схемы организации движения с устройством раздельного островка, переходных скоростных полос и доминантных элементов	Изменение схемы организации движения с устройством раздельного островка, переходных скоростных полос и доминантных элементов	Кольцевое пересечение в месте примыкания ул. Землянского	Малое кольцевое пересечение в месте примыкания ул. Землянского						
Местоположение на схеме (рис. 1)	1.5	6	5	5	5	4	3						
Эскиз доминантного объекта													
Наименование доминантного объекта	«Гаситель»	Речники			Бронекатер БК-31	7-я Гвардейская	Звезды «Памяти Победы»						

Рис. 2. Общая схема формирования системы средств технологического и информационно-эстетического воздействия на участников дорожного движения на построенном участке магистрали



Открывает этот звездный парад разработанная авторами доминантная композиция из нескольких звезд, символизирующих множество и единство подвигов защитников берега Волги на пути к Победе (рис. 3). Композиция размещается в центре кольцевого пересечения, предлагаемого авторами для устройства в месте примыкания ул. Землянского (см. рис. 1, 2) к магистрали. Такое решение предлагается для устранения причин низкого уровня ПС в этой зоне.

Аналогичное проектное решение предлагается для устранения наиболее опасных в плане ДТП зон примыкания транспортных потоков при их въезде с ул. 7-й Гвардейской, где часто допускаются превышения безопасного скоростного режима. Устройство доминантного элемента, посвященного памяти воинов 7-й Гвардейской дивизии в центральной части кольцевого пересечения, служит ярким ориентиром в направлении движения на эту улицу, а также является элементом, визуально указывающим на необходимость снижения скорости и изменения направления движения (рис. 4).

Особое внимание уделено участку магистрали с примыканием для съездов на парковочное пространство в зоне амфитеатра и памятника бронекатеру БК-31. На этом участке, как показали измерения, скорость транспортного потока значительно превышает допустимые пределы ( $V_{\text{доп}} = 60$  км/ч) и составляет  $V_{85} = 81$  км/ч. Кроме того, при въезде и выезде транспортных средств создаются опасные конфликтные точки из-за отсутствия переходно-скоростных полос и излишнего количества примыканий, что отмечено экспертами (см. табл. 2, рис. 5).

Для исключения превышения скорости и конфликтных точек авторами разработана схема организации движения с использованием островка безопасности, некоторого сужения проезжей части, переходно-скоростных полос, световозвращающих элементов и специальной структурной (создающей шумовой и вибрационный эффект) горизонтальной дорожной разметки (рис. 5).

Разработанные планировочные решения примыкания улиц, соединяющих Нулевую Продольную магистраль с улично-дорожной сетью Волгограда, с использованием малых кольцевых пересечений и доминантных объектов, а также в зоне устройства парковочного пространства предлагается применять как типовые для дальнейшего проектирования участков Нулевой Продольной магистрали. Эти решения учитывают особенности прибрежной зоны, формирующие линейный характер расположения объектов притяжения и парковочного пространства, создают вынужденный острый угол для примыканий и другие условия, характерные для дорог прибрежной зоны. Кроме того, эти решения учитывают негативный опыт эксплуатации магистрали, запроектированной без учета перечисленных особенностей, и позволяют вырабатывать у водителей определенный положительный стереотип поведения в процессе движения по магистрали, что облегчает условия движения и повышает его безопасность.



Рис. 3. Доминантная визуально-ориентирующая композиция в начале модернизируемого участка магистрали в архитектурном бассейне № 5 на объекте 3 (см. табл. 3, рис. 2)

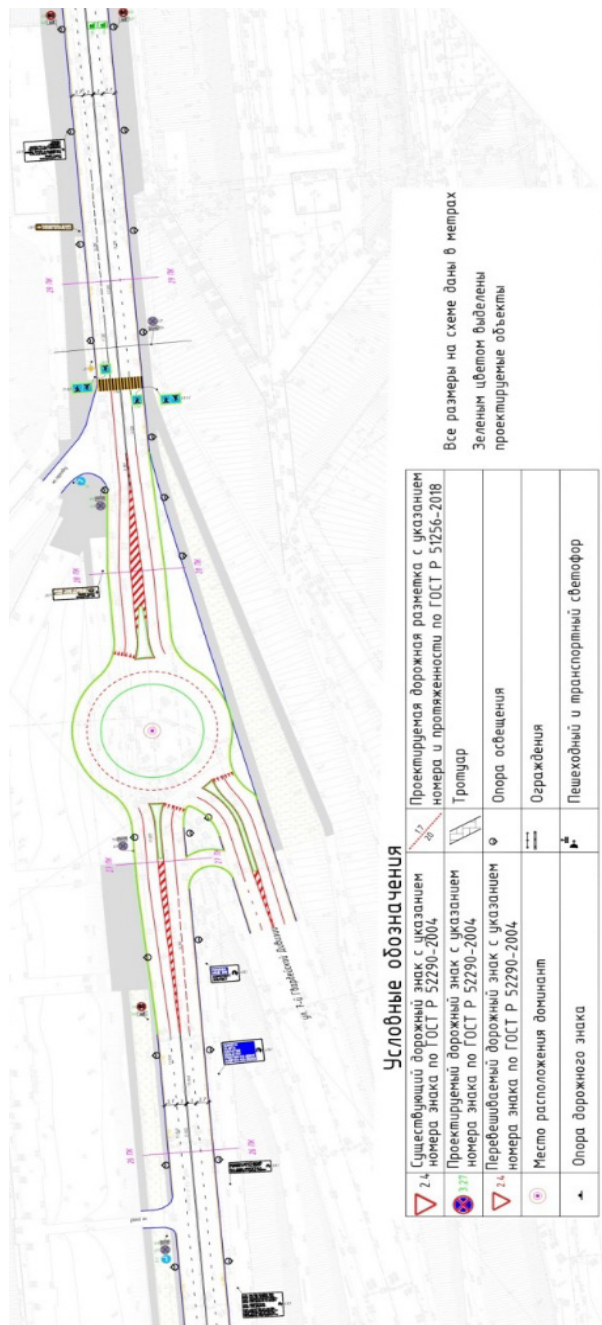


Рис. 4. Пример планировочной схемы модернизации участка магистрали в архитектурном бассейне № 6 на объекте 4 (см. табл. 3, рис. 2)

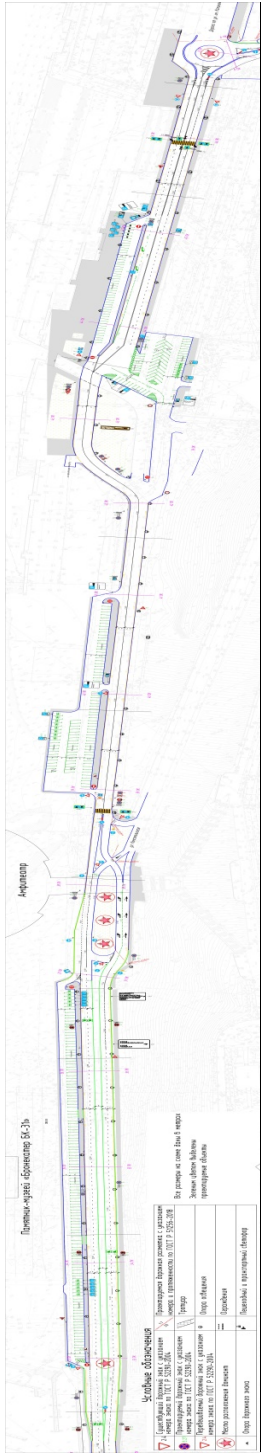


Схема Б

Схема А



Рис. 5. Пример планировочной схемы модернизации участка магистрали в архитектурном бассейне № 7 на объекте 5 (см. табл. 3, рис. 2) в зоне памятника БК-31 и амфиатра с применением островка безопасности и доминантных визуально-ориентирующих объектов (схема А). Существующее планировочное решение с конфликтными точками требующее модернизации (схема Б)

### **Выводы:**

1. Проведена оценка информационно-эстетических и технологических ПС экспертно-аналитическим методом, установлены объекты и участки Нулевой Продольной магистрали с низким уровнем этих свойств, выявлены основные причины этого.

2. Сформулированные целевые подходы и основные принципы проектирования Нулевой Продольной магистрали позволяют осуществлять модернизацию построенных участков и дальнейшее проектирование дороги как единого ансамблевого комплекса, наполненного целенаправленным информационно-эстетическим, технологическим воздействием на участников движения, обеспечивающим безопасное и комфортное движение в сложных условиях.

3. Разработанная логическая модель позволяет провести зонирование Нулевой Продольной магистрали на взаимосвязанные архитектурные бассейны, создавая тем самым предпосылки продолжения проектирования магистрали, как единого информационно-эстетического и технологического ансамблевого комплекса.

4. Разработанные планировочные схемы модернизации неблагоприятных участков магистрали помогают устранить причины низкого уровня ПС в зоне примыканий магистрали к улично-дорожной сети города, а также прилегающего парковочного пространства за счет принудительного воздействия на режимы и траекторию транспортных средств. Данные планировочные решения предлагается использовать как типовые в проектировании новых участков Нулевой Продольной магистрали, т. к. они будут прокладываться в характерных для построенного и рассматриваемого участка условиях.

5. Предлагается обоснованная система доминантных архитектурных элементов, которая представляет собой комплекс взаимосвязанных решений с целенаправленным ориентирующим воздействием на участников дорожного движения, повышающим безопасность движения и информационно-эстетическим эффектом патриотической направленности.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Девятков М. М., Волков В. С., Гагулина О. В., Щебетко Д. А.* Методика формирования архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги для повышения удобства и безопасности движения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 92—107.
2. *Девятков М. М., Олейников П. П.* Формирование архитектурных доминантных акцентов визуально-ориентирующего и патриотического характера в обустройстве автомобильных дорог // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 32—46.
3. *Девятков М. М.* Принципы формирования информационно-эстетических качеств автомобильных дорог // Архитектура и строительство России. 2008. № 5. С. 22—29.
4. *Лобанов Е. М.* Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. М. : Транспорт, 1980. 312 с.
5. *Павлова Л. В.* Ландшафтно-эстетическая организация транспортных сооружений // Вестник СГАСУ. Серия: Градостроительство и архитектура. 2016. № 2(23). С. 96—103. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.18.
6. *Девятков М. М., Вилкова И. М., Сапожкова Н. В., Тисленко А. А.* Концептуальные подходы к формированию дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной территории Волгограда (Волгоградской агломерации) как природно-технической системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 39—51.

7. Орлов А. И. Экспертные оценки в системных исследованиях // Сборник трудов ВНИИСИ. Вып. 4. М. : ВНИИСИ, 1979. С. 37—46.
8. Девятков М. М. Основы теории модернизации сети автомобильных дорог городов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2010. № 4. С. 10—15.
9. Девятков М. М., Вилкова И. М., Сапожкова Н. В. Основы теории модернизации улично-дорожной сети муниципальных образований: монография. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2021. 227 с.
10. Девятков М. М., Волков В. С., Вилкова И. М., Гагулина О. В. Формирование системы индикаторов визуальной информационно-эстетической модели для цифровой дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 67—76.
11. Антоненко О. Ю. Влияние информационного поля водителя на риск попадания в дорожно-транспортное происшествие // Бюллетень ВШЦ СО РАМН. 2005. № 8(46). С. 94—96.
12. Baier R., Ackva A., Baier M. Strassen und Plätze neu gestaltet : Beispielen aus der Praxis. Köln : Druckerei J.P. Bachem GmbH, 2000.
13. Bausteine fuer die Planungspraxis in Nordrhein-Westfalen No. 12. Verkehrsberuhigung und Starssenraumgestaltung. 1990.
14. Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestaltung von Mini-Kreisverkehrsplätzen. Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen. 1999.
15. Merkblatt über bauliche Massnahmen zur Verkehrsberuhigung. FGSV. 1994. P. 28.
16. Papacostas C. S., Prevedouros P. D. Transportation Engineering and Planning. New Delhi, 2009. 704 p.
17. Prinz D. Gestaltung von Strassen und Strassenräumen. Städtebau. Band 2, Städtebauliches Gestalten. Kohlhammer/Architektur. 6. Aufgabe, 1997.
18. Weise G., Durch W. Strassenbau: Planung und Entwurf. Berlin : Verl. fuer Bauwesen, 1997. P. 436.

© Вилкова И. М., Витолин С. В., Волков В. С., Девятков М. М.,  
Сидоренко А. В., Шевченко И. Н., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Формирование обоснованного информационно-эстетического и технологического воздействия на участников дорожного движения и методы такого воздействия на Нулевой Продольной магистрали в Волгограде / И. М. Вилкова, С. В. Витолин, В. С. Волков, М. М. Девятков, А. В. Сидоренко, И. Н. Шевченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 65—78. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_65.

Об авторах:

**Вилкова Ирина Михайловна** — канд. экон. наук, доц., нач. производственно-технического отдела. ООО «Учебно-научно-производственное предприятие АСПЕКТ». Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Козловская, 48б; imvilкова@yandex.ru

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

**Волков Владимир Степанович** — доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; n.volkova171@yandex.ru

**Девятков Михаил Михайлович** — канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; devyatov.50@mail.ru

**Сидоренко Алиса Васильевна** — студентка каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; fox-bk@bk.ru

**Шевченко Иван Николаевич** — инженер каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; djsheva1321@rambler.ru

**Irina M. Vilkova<sup>a</sup>, Sergey V. Vitolin<sup>b</sup>, Vladimir S. Volkov<sup>b</sup>, Mikhail M. Devyatov<sup>b</sup>,  
Alice V. Sidorenko<sup>b</sup>, Ivan N. Shevchenko<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> ASPEKT LLC

<sup>b</sup> Volgograd State Technical University

### **FORMATION OF A REASONABLE INFORMATIONAL, AESTHETIC AND TECHNOLOGICAL IMPACT ON ROAD USERS AND METHODS OF SUCH IMPACT ON THE 0TH LONGITUDINAL HIGHWAY IN VOLGOGRAD**

The target approaches and the principles of modernization of the 0th Longitudinal line in Volgograd were formulated as a single ensemble complex filled with targeted information-aesthetic, technological impact on the participants in the movement. For this, a forced effect on the regimes and trajectory of vehicles was used through special planning solutions and a system of dominant architectural elements.

**Key words:** road infrastructure, effective information field, traffic safety, aesthetics, architecture.

*For citation:*

Vilkova I. M., Vitolin S. V., Volkov V. S., Devyatov M. M., Sidorenko A. V., Shevchenko I. N. [Formation of a reasonable informational, aesthetic and technological impact on road users and methods of such impact on the 0th Longitudinal highway in 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], 2024, iss. 2, pp. 65—78. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_65.

*About authors:*

**Irina M. Vilkova** — Candidate of Economics, ASPEKT LLC. 48b, Kozlovskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; imvilkova@yandex.ru

**Sergey V. Vitolin** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vitolinsv@mail.ru

**Vladimir S. Volkov** — Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; n.volkova171@yandex.ru

**Mikhail M. Devyatov** — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; devyatov.50@mail.ru

**Alice V. Sidorenko** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; fox-bk@bk.ru

**Ivan N. Shevchenko** — Engineer of Construction and Operation of Transport Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; djsheva1321@rambler.ru

УДК 627.5:625.122

**В. А. Петров, Г. В. Тлявлиина**

*ОП АО ЦНИИТС «НИЦ „Морские берега“»*

## **РАСЧЕТ ВОЛНОГАСЯЩЕГО ПЕСЧАНОГО ПЛЯЖА КАК ЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Рассматриваются вопросы расчета песчаных пляжей, проектируемых для инженерной защиты транспортных сооружений (автомобильных, железных дорог и т. п.) и берегов от размыва морскими волнами. Предлагается метод расчета песчаного пляжа, разработанный на основании многолетних натуральных наблюдений, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Результаты исследований предназначены для актуализации нормативных документов в области морской берегозащиты.

**Ключевые слова:** берегозащита, инженерная защита, морские волны, песчаный пляж, проектирование, расчет.

### **Введение**

Объектом исследования являются песчаные пляжи, проектируемые в качестве защитных сооружений для объектов транспортной инфраструктуры (автомобильных, железных дорог и т. п.), а также берегов в целом.

Цель настоящего исследования — разработка нормативного метода расчета песчаного пляжа.

Песчаные пляжи, сложенные мелкими наносами, легко приходящими в движение под воздействием волн и течений, представляют собой наиболее изменчивые аккумулятивные формы береговой зоны, морфология которых существенным образом отличается от галечных пляжей [1].

Морфодинамика песчаных пляжей определяется сложным комплексом изменяющихся во времени гидродинамических процессов, оказывающих влияние на переотложение наносов. Во многих случаях эти процессы недостаточно изучены.

При проведении берегозащитных мероприятий под песчаным волногасящим пляжем полного профиля понимается аккумулятивное образование, сформированное волнами от места их первого обрушения до вершины наката. Волногасящие пляжи полного профиля, природные или созданные в результате отсыпок пляжеобразующего материала, исторически в нормативных документах назывались свободными<sup>1</sup>, по аналогии с природными свободными аккумулятивными береговыми формами [2]. Под «свободным» понимается пляж, созданный как самостоятельное волногасящее сооружение без возведенных на нем пляжеудерживающих конструкций [3], т. е. в зоне волнового воздействия отсутствуют любые берегозащитные сооружения.

<sup>1</sup> ВСН 183—74. Технические указания по проектированию морских берегозащитных сооружений. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293779/4293779996.htm>.

СП 32-103—97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030723>.

СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

Восстановление утраченных природных или создание новых волногасящих песчаных пляжей в полной мере отвечает сохранению береговых ландшафтов и требованиям охраны окружающей среды [4—6].

Свободные песчаные пляжи в СП 277.1325800.2016 авторами рассматриваются как деформируемые волногасящие сооружения. Здесь подразумеваются знакопеременные изменения профиля и объема пляжа под воздействием штормов разных направлений и силы. Сложность природных процессов, протекающих в береговой зоне песчаных пляжей во время прохождения штормов и обусловленных одновременным влиянием многих факторов, не всегда позволяет установить надежные зависимости между ними. Не претендуя на всю полноту учета влияния внешних факторов на гидродинамические процессы, протекающие в береговой зоне песчаных пляжей во время прохождения волнений, в основу инженерных обоснований берегозащитных мероприятий должны быть положены относительно простые зависимости. Отчасти такие зависимости использованы авторами в существующих СП<sup>2</sup>.

Актуальность исследования обусловлена тем, что в имеющихся нормативных документах для песчаных пляжей не приводятся формулы по расчету высоты наката волн в зависимости от их параметров. Приведенный в СП 38.13330.2018 (приложение Д) алгоритм определения высоты наката волн на откос сооружения не подходит для расчета песчаных пляжей.

Работ российских ученых, посвященных исследованию в природных условиях высоты наката (заплеска) волн на песчаные пляжи, крайне мало. Следует выделить работы Р. Д. Косьяна, Б. В. Дивинского и др. [7—10], где рассмотрены вопросы моделирования движения песчаных наносов в береговой зоне моря. Также необходимо особо отметить работы И. О. Леонтьева, в которых приводится обзор зарубежной литературы по морфодинамике песчаных пляжей, и рассматривается формирование штормового профиля песчаного пляжа [11—14]. Однако следует отметить, как у И. О. Леонтьева, так и у зарубежных авторов [15, 16] в основном приводятся результаты теоретических обобщений, которые затруднительно использовать при инженерных расчетах.

#### **Материалы и методы**

В настоящей работе использованы материалы режимных наблюдений (мониторинга) литодинамических процессов на участке берега протяженностью более 60 км от мыса Панагия до мыса Анапский<sup>3</sup>, материалы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в волновых бассейнах<sup>4</sup> по объектам Анапской пересыпи, Самбийского и Таманского полуостровов, а также результаты исследований [17—20].

#### **Результаты и обсуждение**

Основными параметрами, характеризующими создаваемый свободный песчаный пляж полного профиля, которые необходимо определить при разработке берегозащитных мероприятий, являются:

<sup>2</sup> СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

СП 416.1325800.2018. Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403251>.

<sup>3</sup> ФГУП «ГУБПР». Краснодар, 2002.

<sup>4</sup> ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега». Сочи, 2008—2022.



- профиль относительного динамического равновесия подводного берегового склона от глубины первого обрушения расчетной волны до расчетного уровня моря;
- отметка вершины наката (заплеска) волн на надводную часть создаваемого пляжа;
- длина наката волн на надводную часть создаваемого пляжа;
- объем пляжеобразующего материала, необходимый для формирования волногасящего свободного песчаного пляжа, с учетом его уплотнения при воздействии волн;
- строительный профиль исходной отсыпки пляжеобразующего материала;
- объем пляжеобразующего материала, который может быть вынесен во вдольбереговом потоке за пределы создаваемого волногасящего пляжа;
- объем и места эксплуатационных пополнений созданного песчаного пляжа, а также их периодичность;
- оценка влияния создаваемого свободного песчаного пляжа на прилегающие участки берега и дна.

Одним из понятий, используемых при оценке объема отсыпаемого песчаного материала, достаточного для создания волногасящего пляжа полного профиля, является «расчетный профиль относительного динамического равновесия», под которым понимается профиль, формируемый волнами расчетного шторма, т. е. шторма с максимальными волновыми параметрами, возможными в расчетный период. При этом расчет подводной и надводной частей профиля относительного динамического равновесия песчаных пляжей существенно отличается от галечных.

В СП 277.1325800.2016 приводится расчет профиля относительного динамического равновесия подводной части песчаного пляжа, который от места первого обрушения волн до уреза моря аппроксимируется зависимостью:

$$d = AX^{2/3}, \quad (1)$$

где  $X$  — расстояние от берега;  $A$  — параметр, зависящий от крупности наносов.

Д. Крибель [12] установил, что параметр  $A$  можно выразить в форме:

$$A = 2,25 \left( \frac{\omega_s^2}{g} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

где  $\omega_s$  — гидравлическая крупность песка, м/с.

Для берегов, сложенных мелкозернистым песком, параметр  $A$  часто принимают равным 0,1 [14].

Представляется, что подводная часть профиля относительного динамического равновесия песчаного пляжа должна строиться от места расположения первого обрушения волн до «нулевой» линии (рис. 1), относительно которой при построении планов по результатам гидрографических работ строится батиметрический план. Таким образом, на плане нанесены отметки дна, а не глубина, которая от отметок будет отличаться на величину уровня моря на момент проведения промеров глубин.

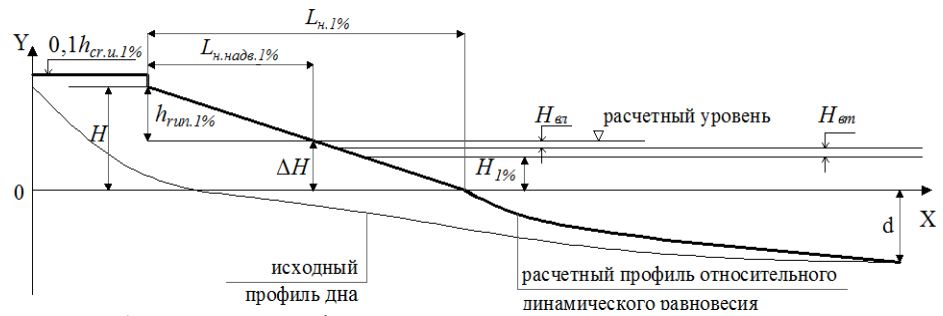


Рис. 1. Расчетный профиль относительного динамического равновесия песчаного пляжа

Надводная часть профиля относительного динамического равновесия песчаного пляжа формируется накатом волн. Положение на профиле вершины наката, т. е. точки в надводной части песчаного пляжа, до которой может достигать накатывающийся волновой поток, определяется двумя основными морфометрическими характеристиками: высотой и длиной наката. Под высотой наката (заплеска) волн понимается превышение над расчетным уровнем места их максимального продвижения по профилю пляжа (вершины наката), а под длиной — горизонтальное расстояние от места пересечения расчетного уровня с берегом до вершины наката. За расчетный уровень при определении высоты наката волн на надводную часть песчаного пляжа  $\Delta H$ , который в [21] назван уровнем штормового нагона, принимается отметка уровня моря 1 % обеспеченности (возможного один раз в 100 лет)  $H_{1\%}$ , увеличенная на сумму высот волнового  $H_{вл}$  и ветрового нагонов  $H_{вт}$ .

$$\Delta H = H_{1\%} + H_{вл} + H_{вт}. \quad (3)$$

Величины волнового и ветрового нагонов над уровнем моря 1 % обеспеченности определяются по СП 38.13330.2018 (приложении Б)<sup>5</sup> или рассчитываются по рекомендациям, изложенным в [22].

На основании многочисленных измерений штормовых профилей галечных пляжей, выполненных с причалов [23], получена зависимость высоты наката волн на его надводную часть от уклона пляжа и энергии подходящих волн, выраженная через их основные параметры, такие как высота, период и крутизна. Для определения высоты наката волн 1 % обеспеченности  $h_{run1\%}$  волн на надводную часть песчаного пляжа относительно расчетного уровня предлагается зависимость:

$$h_{run1\%} = 0,006 h_{cr.u.13\%} \sqrt{\frac{gT^2}{h_{cr.u.13\%}}} \cos \alpha \sqrt{\frac{\pi}{2\beta_{cp}}}, \quad (4)$$

где  $h_{cr.u.13\%}$  — высота волн 13 % обеспеченности в системе расчетного шторма по линии их последнего обрушения, м;  $\bar{T}$  — средний период волн, с;  $\alpha$  — угол

<sup>5</sup> СП 38.13330.2018. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18063>.

подхода волн к берегу;  $\beta_{cp}$  — среднее значение угла наклона поперечного профиля пляжа в пределах прибойной зоны.

Последнее обрушение волн выбрано, исходя из предположения, что непосредственно энергия этой волны, основной характеристикой которой является ее высота, определяет волновой поток, накатывающийся на пляж. Для определения высоты наката волн на песчаный пляж использована высота волн 13 % обеспеченности, так называемая «значительная» высота, являющаяся средним значением из 1/3 наиболее высоких волн [14], которая наиболее достоверно характеризует волновое поле нерегулярного волнения.

Угол наклона пляжа в пределах прибойной зоны  $\beta_{cp}$  может быть определен из соотношения крупности песка, слагающего надводную часть песчаного пляжа, и ее крутизной, представленной в таблице<sup>6</sup>.

*Зависимость средних уклонов надводной части песчаного пляжа  $i_n$  от медианной крупности пляжеобразующего материала  $D_{50\%}$*

$D_{50\%}$ , мм	$i_n$
0,2...0,3	0,03
0,3...0,4	0,06
0,4...0,5	0,07
0,5...0,6	0,09
0,6...0,8	0,11
0,8...2,0	0,12

По высоте наката волн  $h_{run1\%}$  и углу наклона пляжа в пределах прибойной зоны  $\beta_{cp}$  определяется длина наката волн на надводную часть пляжа  $L_{н.надв.1\%}$  относительно расчетного уровня:

$$L_{н.надв.1\%} = \frac{h_{run1\%}}{i_n}. \quad (5)$$

Отметка верха надводной части профиля относительного динамического равновесия создаваемого песчаного пляжа  $H$  над нулевой линией, на которой заканчивается профиль подводной части пляжа, принимается равной сумме величины расчетного уровня  $\Delta H$  и высоты наката 1 %, обеспеченности  $h_{run1\%}$  волн на надводную часть песчаного пляжа:

$$H = \Delta H + h_{run1\%}. \quad (6)$$

По полученному превышению надводной части профиля относительного динамического равновесия создаваемого песчаного пляжа над нулевой линией  $H$  и значению уклона надводной части создаваемого пляжа, определенному с учетом крупности наносов по таблице, вычисляется полная длина наката волн  $L_{н.1\%}$  на надводную часть пляжа относительно нулевой линии:

$$L_{н.1\%} = \frac{H}{i_n}. \quad (7)$$

<sup>6</sup> СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

Соединив окончание подводной части профиля относительного динамического равновесия с точкой, полученной по значениям  $H$  и  $L_{н.надв.1\%}$ , получаем полный профиль относительного динамического равновесия песчаного пляжа, формируемый расчетным волнением при расчетном уровне моря от глубины первого обрушения волн до вершины наката (см. рис. 1).

Объем песчаного материала, достаточный для формирования волногасящего песчаного пляжа, определяется по совмещению расчетного профиля относительного динамического равновесия с фактическим. Для этого по береговому окончанию фактического профиля проводится вертикальная линия, на которую наносятся отметки верха существующего профиля и вершины наката расчетного профиля относительного динамического равновесия. Затем совмещаются уровни моря, проведенные через нулевые линии. По площади, заключенной между фактическим профилем пляжа и расчетным, определяется удельный объем песчаного материала, необходимый для отсыпки на 1 п. м берега. Площадь, заключенная между профилем относительного динамического равновесия и существующим на защищаемом участке берега профилем дна, численно равная удельному объему песка отсыпаемого на 1 п. м берега, должна быть увеличена на 12 % для компенсации уменьшения объема рыхлого отсыпаемого материала при уплотнении в процессе его волновой переработки<sup>7</sup>.

С учетом длины защищаемого участка берега определяется и общий объем пляжеобразующего материала, который необходимо отсыпать для формирования волногасящего песчаного пляжа, предохраняющего берег от размыва волнами.

При создании волногасящего пляжа полного профиля, защищающего берег или возведенный объект от воздействия волн, песчаный пляжеобразующий материал отсыпается в тыльной его части в виде бермы. Верх отсыпаемой бермы может быть выполнен в виде горизонтальной или слабо наклоненной в сторону моря площадки. Отметки верха бермы должны превышать верх профиля относительного динамического равновесия песчаного пляжа на расчетную величину  $H$ , увеличенную на запас на незатопляемость, который принимается равным  $0,1h_{cr.u.1\%}$ , где  $h_{cr.u.1\%}$  — высота волн 1 % обеспеченности в системе расчетного шторма по линии их последнего обрушения.

На верховом и низовом участках создаваемого волногасящего песчаного пляжа следует выполнить плавное сопряжение производимой отсыпки с береговой линией, что необходимо учитывать при расчете общего объема отсыпаемого песчаного материала (рис. 2).

Создаваемый в результате отсыпки песчаного пляжеобразующего материала пляж не окажет негативного влияния на протекающие в береговой зоне природные процессы.

Выдвинутая в начальный момент в сторону моря исходная отсыпка, вследствие заполнения входящего угла, отчасти скажется на уменьшении величины существующего вдольберегового потока песчаных наносов. При этом заполнение перемещающимися вдоль берега наносами входящего угла скажется на увеличении ширины пляжей на участке, расположенном выше (относительно направления перемещения наносов) выполненной отсыпки. На

<sup>7</sup> Там же.

смежном участке пляжа, расположенном ниже по ходу потока, низовых размывов наблюдаться не будет в результате поступления на него наносов, перемещаемых с участка проведения берегозащитных мероприятий. В целом, созданный или восстановленный песчаный пляж воссоздаст природный ландшафт побережья и, наряду с выполнением берегозащитных функций, увеличит его рекреационный потенциал.

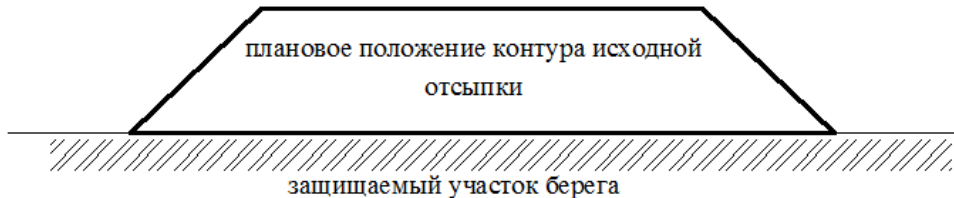


Рис. 2. Плановое положение исходной отсыпки пляжеобразующего материала

При разработке берегозащитных мероприятий по созданию на конкретном участке берега свободного волногасящего песчаного пляжа полного профиля должен быть предусмотрен соответствующий объем песчаного материала, который в период эксплуатации пляжа во вдольбереговом потоке будет выноситься за пределы создаваемого песчаного пляжа, снижая его волногасящие функции. Потери объема пляжа при его эксплуатации могут быть оценены по материалам топо-батиметрических съемок или по результатам расчетов величины вдольберегового потока наносов. Величина вдольберегового потока песчаных наносов определяется по алгебраической сумме расходов наносов, вычисленных по каждой градации высот волн всех волноопасных направлений, с учетом углов их подхода и продолжительности действия. Объем песка, выносимый за год с созданного пляжа по каждой градации волн шторма, может быть определен по зависимости [24]:

$$Q = 0,0023g \left( \frac{v}{D_{50\%}} \right)^{0,5} (h_{cr.u13\%} \bar{T})^{1,5} \sin 2\alpha, \quad (8)$$

где  $Q$  — объем наносов, перемещаемый вдоль берега за годовой интервал, м<sup>3</sup>/год;  $h_{cr.u13\%}$  — высота волн 13 % обеспеченности в системе расчетного шторма по линии их последнего обрушения, м;  $\bar{T}$  — средний период по каждой градации высот волн, с;  $\alpha$  — угол подхода волн к берегу, град.;  $v$  — кинематический коэффициент вязкости;  $D_{50\%}$  — медианный диаметр зерен песка, м.

Для предотвращения снижения во время эксплуатации волногасящих свойств созданных песчаных пляжей необходимо предусмотреть их пополнение песчаным материалом, исходя из годовых объемов, рассчитанных выше. Сроки пополнения определяются в зависимости от интенсивности вдольберегового перемещения наносов, но не реже одного раза в три года. Пополнение наносами созданного волногасящего песчаного пляжа может осуществляться в виде одного или двух отвалов, расположенных в верховой стороне или в виде бермы, отсыпанной на протяжении всей длины защищаемого участка берега.

Восстановление существующих подверженных размыву свободных волногасящих природных песчаных пляжей или создание новых, оканчивающихся со стороны моря на линии первого обрушения волн, сопряжено с отсыпкой большого объема песчаного материала, который не всегда возможно поставить. На практике такие песчаные волногасящие пляжи создать затруднительно. Обычно при проведении берегозащитных мероприятий на песчаных побережьях из отсыпанного песчаного материала при переработке его волнами создаются аккумулятивные формы в виде песчаных пляжей неполного профиля, устойчивость которых от воздействия волн обеспечивается пляжеудерживающими сооружениями, в основном бунами, реже — волноломами. В обоих случаях употребляется термин «пляж». Предлагается волногасящие песчаные пляжи, созданные под защитой пляжеудерживающих сооружений в отличие от волногасящих песчаных пляжей полного профиля, начинающихся на линии первого обрушения волн, в нормативно-технической документации назвать антропогенными волногасящими песчаными пляжами.

Для сохранности создаваемого песчаного пляжа наиболее широко используются буны различных конструкций [5, 13, 25, 26]. Волноломы, выполненные в монолитном исполнении из бетонных элементов, показали свою низкую пляжеудерживающую способность и в настоящее время на песчаных побережьях почти не используются. Буны, как пляжеудерживающие сооружения, предназначены для предотвращения выноса с создаваемого пляжа материала при его вдольбереговом перемещении под воздействием волн. Для галечных пляжей, на которых поперечное перемещение отсыпанного пляжеобразующего материала ограничено последним обрушением волн, головная часть пляжеудерживающих бун располагаться мористее этой линии. При этом эффективность буны по удержанию пляжа, сложенного крупнозернистым материалом, определяется отметками ее гребня и целостностью самой конструкции. Такой же принцип сохранности создаваемого пляжа заложен и при создании песчаных волногасящих пляжей. Однако принципиальным отличием процессов, протекающих во время волнения на песчаных пляжах от динамики галечных пляжей, является существенная роль поперечных перемещений песка, которые могут распространяться вплоть до линии первого обрушения волн. Буны такой длины возможно создать только теоретически. В этом случае «принцип пляжеудержания», заключающийся в сохранности отсыпанного песчаного материала под защитой пляжеудерживающих сооружений малоэффективен.

Представляется, что более перспективным является принцип снижения волнового воздействия на создаваемый песчаный пляж в результате возведения сооружений, уменьшающих высоту и угол подхода волн. Такие волногасящие сооружения, выполненные в виде единой конструкции или с разрывами, должны располагаться в море на определенном расстоянии от берега. Отметки их гребней, как и ширина, в зависимости от конкретных условий, могут быть различными. Расчет таких сооружений, основанных не на принципе строительства непосредственно пляжеудерживающих сооружений, а на принципе возведения волногасящих сооружений, которые, в конечном счете, приводят к сохранности создаваемого песчаного пляжа, сложен, и во многих случаях требует проведения гидравлических исследований на волновых установках.

## Заключение

Усиливающиеся темпы размыва песчаных побережий предопределяют проведение берегозащитных мероприятий. Эффективным элементом защиты песчаных побережий от воздействия штормов, созданным самой природой, является волногасящий пляж, на надводной части которого происходит полное гашение наката максимальных волн. Уменьшение ширины природных волногасящих пляжей приводит к прогрессирующему со временем размыву песчаного берега и возникновению угроз разрушения хозяйственных объектов. Наиболее перспективным методом защиты песчаного побережья от размывающего воздействия волн является восстановление природных волногасящих пляжей или создание новых, способных полностью гасить накат волн в максимальных штормах. Для этого необходимо выполнение отсыпок песчаного пляжеобразующего материала в объемах, достаточных для восстановления или создания таких волногасящих пляжей.

Предлагаемый авторами подход к проектированию песчаных пляжей рекомендуется использовать при актуализации нормативных документов в области гидротехнического строительства и инженерной защиты транспортных сооружений и берегов от негативного воздействия морских волн<sup>8</sup>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафьянов Г. А. Геоморфология морских берегов. М. : МГУ, 1996. 400 с.
2. Зенкович В. П., Попов Б. А. Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона: процессы, понятия, определения. М. : Мысль, 1980. 280 с.
3. Сафьянов Г. А. Инженерно-геоморфологические исследования на берегах морей. М. : МГУ, 1987. 150 с.
4. Иваненко Т. А., Ветрова Н. М., Гайсарова А. А. О целесообразности разработки эколого-инженерных решений противооползневой защиты прибрежных зон Крыма // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 28—37.
5. Тлявлиня Г. В., Ярославцев Н. А., Петров В. А., Тлявлин Р. М. О методах защиты транспортных сооружений на открытых песчаных берегах внутренних морей // Транспортное строительство. 2015. № 6. С. 14—16.
6. Коростелева М. В., Коростелева Н. В. Санитарно-защитные зоны в планировочной структуре городов как специальные территории с особым режимом использования: нормативные правила установления и особенности закрепления в градостроительной документации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 178—187.
7. Косьян Р. Д., Дивинский Б. В. Проблемы моделирования транспорта осадков в береговой зоне моря // Океанологические исследования. 2021. Т. 49. № 1. С. 93—141.
8. Divinsky B. V., Kos'yan R. D. Bottom Sediment Suspension under Irregular Surface Wave Conditions // Oceanology. 2019. Vol. 59. No. 4. Pp. 482—490.
9. Kos'yan R., Grune J., Divinskiy B., Podymov I. Nowadays Problems of Sediment Transport Modelling in the coastal zone // Proceedings of 34th Conference on Coastal Engineering. 2015. No. 34. DOI: 10.9753/icce.v34.sediment.19.
10. Бондарева Е. В. Калибровка математической модели интегрального вдольберегового переноса неоднородных наносов на основе результатов численного моделирования // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 97-8. С. 47—51.
11. Леонтьев И. О. К оценке параметров искусственного песчаного пляжа // Океанология. 2022. Т. 62. № 3. С. 485—494.

<sup>8</sup> СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456055940>.

СП 416.1325800.2018. Инженерная защита берегов приливных морей. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403251>.

12. *Леонтьев И. О.* Абразия берега, сложенного рыхлым материалом // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 1. С. 125—134.
13. *Леонтьев И. О., Аквис Т. М.* О воздействии системы бун на песчаный берег // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 3. С. 474—484.
14. *Леонтьев И. О.* Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М. : ГЕОС, 2001. 272 с.
15. *Dohmen-Janssen C., Hanes D.* Sheet flow and suspended sediment due to wave groups in a large wave flume // *Continental Shelf Research*. 2005. No. 25. Pp. 333—347.
16. *Dean R. G.* Beach nourishment: theory and practice. World Scientific Inc., 2002. 399 p.
17. *Айбулатов Н. А.* Исследование вдольберегового перемещения песчаных наносов в море. М. : Наука, 1966. 159 с.
18. *Корзинин Д. В., Штрель М. Н.* Динамика подводного вала песчаного берега под воздействием штормового волнения по данным мониторинговых наблюдений // *Морской гидрофизический журнал*. 2020. Т. 36. № 4(214). С. 424—436.
19. *Косьян Р. Д., Крыленко В. В.* Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края. М. : Научный мир, 2014. 256 с.
20. *Leont'yev I. O.* Evaluation of depth of closure on a sandy coast // *Oceanology*. 2022. Vol. 62. Iss. 2. Pp. 258—264.
21. *Leont'yev I. O.* Artificial beach as a structure for protecting a seacoast from storm surge impact (based on the example of the eastern gulf of Finland) // *Oceanology*. 2019. Vol. 59. Iss. 2. Pp. 267—275.
22. *Лапто Д. Д., Стрекалов С. С., Завьялов В. К.* Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты. Л. : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1990. 432 с.
23. *Петров В. А.* Волногасящие галечные пляжи. М. : Экон-Информ, 2021. 295 с.
24. *Шахин В. М.* Эволюция прибрежной зоны моря в окрестности стока наносов // *Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева*. 1992. Т. 226. С. 64—67.
25. *Noujas V., Thomas K. V., Ajeesh N. R.* Shoreline management plan for a protected but eroding coast along the south-west coast of India // *International Journal of Sediment Research*. 2017. No. 2. DOI: 10.1016/j.ijsrc.2017.02.004i.
26. *Süme V.* Shoreline changes in three groin fields on the eastern Black Sea coast // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2018. Vol. 28. Iss. 1. Pp. 125—131.

© Петров В. А., Тлявлиная Г. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

*Петров В. А., Тлявлиная Г. В.* Расчет волногасящего песчаного пляжа как защитного сооружения для объектов транспортной инфраструктуры // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 2(95). С. 79—89. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_79.

Об авторах:

**Петров Виктор Алексеевич** — канд. географ. наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ „Морские берега“». Российская Федерация, 354002, Российская Федерация, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1; demmi8@mail.ru; Author ID 71251; SPIN-код: 9421-9889; Scopus ID: 7402842652

**Тлявлиная Галина Вячеславовна** — канд. техн. наук, зав. лабораторией моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ „Морские берега“». Российская Федерация, 354002, Российская Федерация, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1; TlyavlinaGV@Tsniiis.com; ORCID: 0000-0003-4083-9014, AuthorID: 604630; SPIN-код: 5516-9241; Scopus ID: 57215131371



**Viktor A. Petrov, Galina V. Tlyavlina**

**JSC TsNIITS "Research Center "Sea Coasts"**

## **CALCULATION OF A WAVE-EXTINGUISHING SANDY BEACH AS A PROTECTIVE STRUCTURE FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES**

The issues of designing sandy beaches as structures for engineering protection of transport structures (roads, railways, etc.) and shores from erosion by sea waves are considered. A method for calculating a sandy beach is proposed, developed on the basis of field long-term observations, research and development work. The research results are intended to update regulatory documents in the field of marine coastal protection.

**Key words:** calculation, coastal protection, design, engineering protection, sandy beach, sea waves.

*For citation:*

Petrov V. A., Tlyavlina G. V. [Calculation of a wave-extinguishing sandy beach as a protective structure for transport infrastructure facilities]. *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], 2024, iss. 2, pp. 79—89. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_79.

*About authors:*

**Viktor A. Petrov** — Candidate of Geographical Sciences, JSC TsNIITS "Research Center "Sea Coasts". 1, Iana Fabritsiusa st., Sochi, 354002, Russian Federation; demmi8@mail.ru; Author ID 71251; Scopus ID: 7402842652

**Galina V. Tlyavlina** — Candidate of Engineering Sciences, JSC TsNIITS Research Center "Sea Coasts". 1, Iana Fabritsiusa st., Sochi, 354002, Russian Federation; TlyavlinaGV@Tsnii.com; ORCID: 0000-0003-4083-9014; AuthorID: 604630; Scopus ID: 57215131371

УДК 624.1 624.42

**В. В. Габова<sup>а</sup>, М. В. Быкодеров<sup>б</sup>, Е. С. Кашина<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»*

## **АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА И БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННОГО ПОДЗЕМНОГО АВТОПАРКИНГА**

Выполнен анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга. Произведен расчет жилого дома вблизи подземной парковки в программном комплексе ЛИРА-САПР, определена осадка здания методом послойного суммирования, а также определено критическое расстояние, после которого начинает появляться дополнительная осадка.

**Ключевые слова:** взаимное влияние, метод послойного суммирования, дополнительная осадка.

В настоящее время проводится множество исследований взаимного влияния зданий и сооружений в связи с уплотнением городской застройки. Проектирование в плотной городской застройке с каждым годом все более актуально, проведение различных мероприятий по уменьшению взаимного влияния зданий также остается важной темой.

В многоэтажном жилом доме необходимо и важно иметь парковочные места для жильцов — владельцев автомобильных средств. Не всегда есть возможность создать благоприятную обстановку с парковочными местами вокруг дома, поэтому в последнее время стало обычным проектирование подземных автопаркингов. Одним из решений является их проектирование на подземных этажах зданий, другим — проектирование подземных отдельно стоящих сооружений.

Расчет взаимного влияния зданий необходим для соблюдения множества условий, обязательных при проектировании и дальнейшем возведении зданий или сооружений [1, 2]. К таким условиям относятся:

- исключение возможного негативного влияния нового объекта на старый при строительстве и эксплуатации;
- проведение специальных мероприятий по снижению взаимного влияния объектов;
- расчет безопасного, минимального расстояния, на котором здания и сооружения не будут влиять друг на друга.

Взаимное влияние зданий и сооружений большей частью сказывается на грунтах основания объектов, их напряженно-деформированном состоянии (НДС). Могут возникать дополнительные напряжения в грунте, передающиеся на фундамент и вышележащие конструкции, нередко проявляется дополнительная осадка, которая по своей природе всегда является неравномерной, ее поведение сложно моделируемое и почти всегда непредсказуемое [3]. Все это часто негативно сказывается на здании или конструкции при эксплуатации.

Из основных мероприятий по устранению взаимного влияния остаются следующие конструктивные решения: стена в грунте, шпунт Ларсена, усиление грунтов химическими инъекциями [4, 5]. Выбор варианта зависит от гео-

логических условий площадки, возможности использования ударного оборудования, экономических выгод и др.

Основные цели предлагаемого исследования — определение наличия взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близко расположенной подземной автопарковки в программном комплексе (ПК) ЛИРА-САПР, расчет осадки методом послойного суммирования, определение минимального расстояния между зданиями без дополнительной осадки [6, 7].

Проведено исследование взаимного влияния сооружений, расчетная схема выполнена в ПК ЛИРА-САПР с использованием метода конечных элементов [8—12], шаг конечных элементов 0,5 м (рис. 1).

Исходные характеристики: проектируемое жилое здание представляет собой многоэтажное односекционное здание, многоугольное в плане, с габаритными размерами 34,2×16,8 м, количество этажей — 21, имеется также цокольный этаж. Высота здания от поверхности земли до максимально высокой точки (верх парапета) — 68,00 м.

Подземная автопарковка представляет собой двухэтажное подземное сооружение. Высота от фундамента до покрытия 5,2 м. Размеры в плане 50,5×28,5 м. Расстояние в плане между жилым зданием и подземной автопарковкой — 18 м.

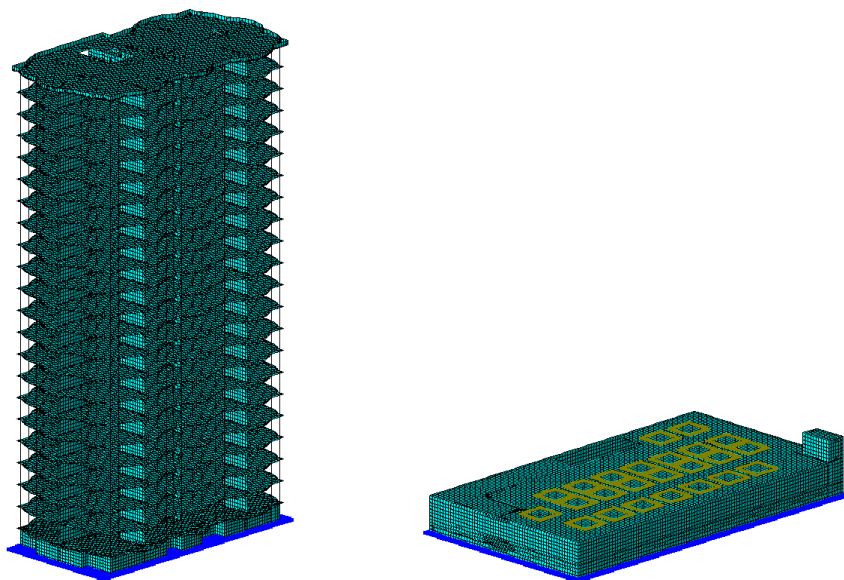


Рис. 1. Расчетная схема жилого здания и подземной автопарковки в ПК ЛИРА-САПР

В разрезе площадки проектируемого сооружения выделено шесть инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Расчетные значения характеристик физико-механических свойств грунтов выделенных ИГЭ вычислены на ПЭВМ в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016<sup>1</sup> и ГОСТ 20522-2012<sup>2</sup> (приложение Н) и приведены на рис. 2.

<sup>1</sup> СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. М., 2017. 228 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206>.

<sup>2</sup> ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096130>.

Обозначения характеристик приняты в соответствии с ГОСТ 25100—2020<sup>3</sup>, по этому же ГОСТу выполнена и классификация грунтов, кроме термина «песчано-алевритовая порода».

В подсистему «ГРУНТ» заносятся данные расчетные значения характеристик грунтов по каждому слою отдельно.

№	Усл. обозн.	Наименование грунта	Цвет	Модуль деформации, т/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, т/м <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Природная влажность, %	Пластичность, %	Водянистость, %	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, т/м <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения, °	Предельное напряжение растяжения, т/м <sup>2</sup>	Коэффициент пропорциональности K, т/м <sup>2</sup>
1															
6	1	Суглинки с прослоем	Желтый	1290	0.35	1.75	5	0.1	W	0.706	0.96	24	0.10		
7	2	Суглинки с прослоем	Желтый	510	0.35	1.95	5	0.22	0.23 W	0.714	0.96	24	0.020		
8	3	Песчано-алеврит	Красный	2940	0.3	1.91	5	0.25		0.782	3.6	28	0.160		
9	4	Глина	Красный	1520	0.42	1.88	5	0.31		0.938	3.44	28	0.40		
10	5	Песок	Красный	2000	0.3	1.94	5	0.28		0.75	0.01	25	1.0		
11	6	Песчано-алеврит	Красный	2000	0.3	1.91	5	0.25	0.1	0.788	1.89	27	0.0		

Примечания: значения Rc, Fl, R<sub>н</sub> в расчете коэффициентов постели C1, C2 не используются, но задаются для последующего экспорта в жесткости ЛИРА САПР. Значения Il, и K используются для расчета жесткости свай (КЗ 57)

Рис. 2. Расчетные значения характеристик прочностных и деформационных свойств грунтов

Заданы характеристики скважин, которые расставлены по сетке, соответствующей строительной площадке (рис. 3). Следующим действием импортировали нагрузку от здания на грунты (рис. 4).

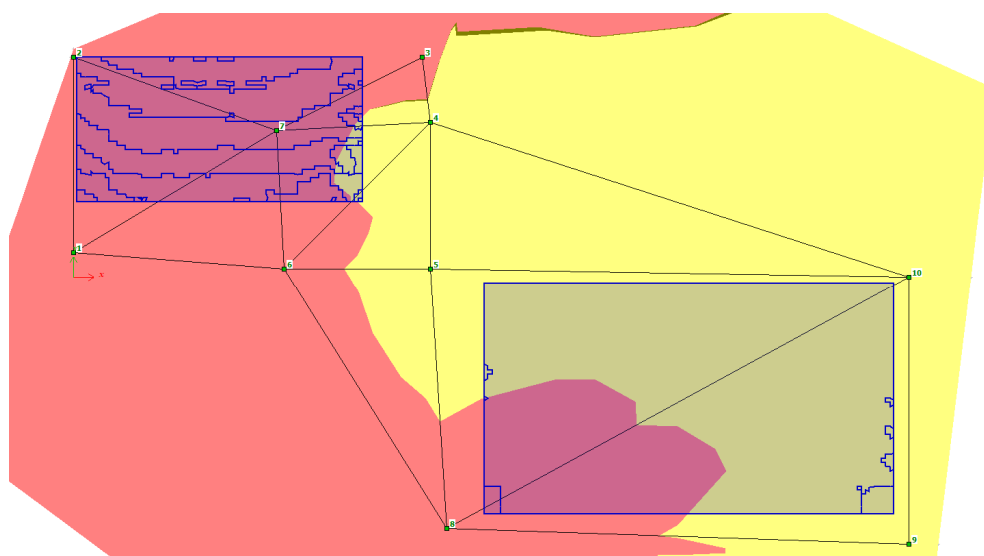


Рис. 3. Жилой дом и подземная парковка на отметке 65,10 м в плане

<sup>3</sup> ГОСТ-25100-2020. Грунты. Классификация. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302>.

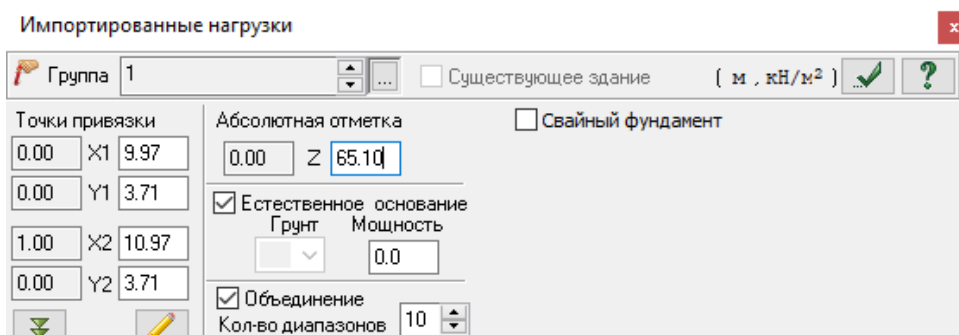


Рис. 4. Импорт нагрузок

Целью расчета оснований по деформациям является ограничение абсолютных или относительных перемещений фундаментов и надфундаментных конструкций такими пределами, при которых гарантируется нормальная эксплуатация сооружения, не снижается его долговечность. При этом имеется в виду, что прочность и трещиностойкость фундаментов и надфундаментных конструкций проверены расчетом, учитывающим усилия, которые возникают при взаимодействии сооружения с основанием. Методы расчета, излагаемые в СП и в рекомендациях к СНиПам, основываются на теории упругости. Расчет по деформациям проводится по второй группе предельных состояний.

При расчете оснований по деформациям должно соблюдаться следующее условие:

$$S \leq S_u, \quad (1)$$

где  $S$  — совместная деформация основания и сооружения;  $S_u$  — предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое в соответствии с требованиями пп. 5.6.46...5.6.50 СП 22.13330.2016.

Для данного типа жилого дома предельное значение осадки составляет не более 15 см. Применяв метод послойного суммирования, определим осадку жилого здания.

Осадка основания  $S$  с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства определяется методом послойного суммирования:

$$S_i = \sum_{i=1}^n \left[ \beta \frac{(\sigma_{zpi}^{cp} - \sigma_{zpi}^{cp}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \frac{\sigma_{zpi} \cdot h_i}{E_{ei}} \right], \quad (2)$$

где второе слагаемое учитывается в случае, если глубина заложения подошвы фундамента больше 4 м, в исследуемом здании глубина заложения фундамента  $d_n = 3,33$  м;  $\beta = 0,8$  — безразмерный коэффициент;  $\sigma_{zpi}^{cp}$  — среднее значение вертикального нормального напряжения (далее — вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в  $i$ -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа:

$$\sigma_{zpi}^{cp} = ap, \quad (3)$$

где  $a$  — коэффициент, учитывающий изменение давления в грунте по глубине, принимается по табл. 5.8 СП 22.13330.2016;  $p$  — среднее давление под подошвой фундамента, кПа,  $p = 325,9$  кПа;  $h_i$  — толщина  $i$ -го слоя грунта, см, принимается не более 0,4 ширины фундамента;  $E_i$  — модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа;  $\sigma_{z\gamma i}^{cp}$  — среднее значение вертикального напряжения в  $i$ -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента от собственного веса, выбранного при отрывке котлована;  $E_{e,i}$  — модуль деформации  $i$ -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа;  $n$  — число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания;  $\sigma_{zg}$  — вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта, кПа, в точке основания на глубине  $z$  от подошвы фундамента:

$$\sigma_{zg} = \gamma' d_n + \sum_{i=1}^n (\gamma h + \gamma(z_i - z_{i-1})). \quad (5)$$

Здесь  $z_i$  — глубина верхней границы  $i$ -го слоя грунта, отсчитываемая от подошвы фундамента, м.

Нижняя граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации  $E \leq 7$  МПа. Если такой слой залегает непосредственно ниже глубины  $z = H_c$ , то его включают в сжимаемую толщу, а за  $H_c$  принимают минимальное из назначений, соответствующих подошве слоя или глубине, где выполняется условие

$$\sigma_{z\gamma} = \alpha \gamma' d,$$

$$\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}.$$

Таким образом,

$$S_i = \sum_{i=1}^n \left[ \beta \frac{(\sigma_{z\gamma i}^{cp} - \sigma_{z\gamma i}^{cp}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \frac{\sigma_{z\gamma i} \cdot h_i}{E_{ei}} \right] = 129,171 \text{ мм.}$$

Допустимая осадка для гражданского многоэтажного здания с полным каркасом с устройством монолитных перекрытий определяется по табл. Г.1 СП 22.13330.2016 и равна  $S_{\max} = 15$  см.

$129,171 \text{ мм} < 150 \text{ мм}$ , — условие выполняется.

Расчет по деформациям также произведен в ПК ЛИРА-САПР, получено  $S_i = 124$  мм (рис. 5).

Проведем сравнение результатов, полученных в ПК ЛИРА-САПР и при расчете по СП 22.13330.2016:

$$\frac{129 - 124}{129} \cdot 100\% = 3,87\%,$$

что меньше 5 %. Таким образом, подтверждается достоверность расчетов.

Далее проведен расчет минимального расстояния, на котором проявится дополнительная осадка от подземной автопарковки. Расчет деформаций оснований и фундаментов при увеличении вертикальных напряжений из-за но-

вого строительства необходимо выполнять с помощью метода послойного суммирования или линейно-деформируемого слоя в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016. Данный расчет можно не выполнять, если выполняется следующее условие<sup>4</sup> [13]:

$$K_r L_{\phi} \geq L_r, \quad (6)$$

где  $L_{\phi}$  — минимальное расстояние между существующими и строящимися фундаментами, м;  $L_r$  — расстояние, определяется по графику (рис. 6).

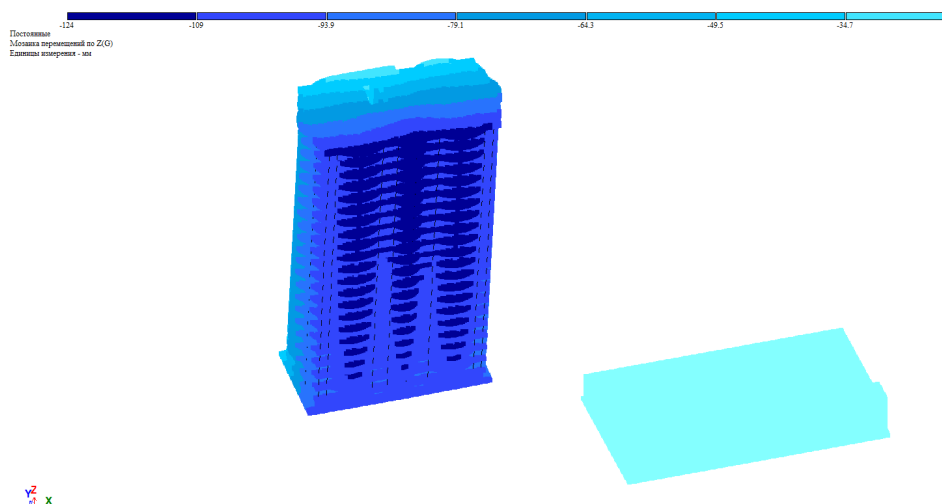


Рис. 5. Расчет в ПК ЛИРА-САПР, деформации по оси Z

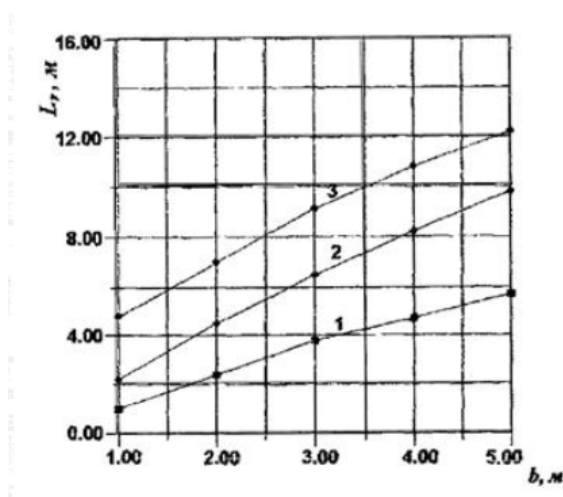


Рис. 6. График для определения расстояния между фундаментами, при котором учитывается влияние нового строительства для прямоугольного фундамента

<sup>4</sup> Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов при возведении зданий вблизи существующих в условиях плотной городской застройки в г. Москве. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003454>.

Далее,  $K_r$  — коэффициент, определяемый по формуле:

$$K_r = [0,06 \cdot (E - 10) / b] + 1, \quad (7)$$

$$K_r = [0,06 \cdot (23,9 - 10) / 17,8] + 1 = 1,047,$$

$$L_\phi = 18 \text{ м},$$

$$L_r = 12 \text{ м},$$

$$1,047 \cdot 18 \geq 12,$$

$18,846 \geq 12$  — условие выполняется, учитывать взаимное влияние не нужно.

Используя формулу (6), определим минимальное расстояние между зданиями, при котором нет необходимости учитывать дополнительную осадку:

$$L_\phi \geq \frac{L_r}{K_r} = \frac{12}{1,047} = 11,46 \text{ м}.$$

При уменьшении данного расстояния между зданием и подземным автопаркингом учитывать дополнительную осадку здания необходимо для обеспечения безопасности, долговечности и надежности сооружений. Если с учетом дополнительной осадки здание не удовлетворяет требованиям СП 22.13330.2016, то следует либо изменить конструктивное решение по каркасу здания (в нашем примере — изменить монолитную фундаментную плиту на свайное поле с ростверком) [15], либо предусмотреть на строительной площадке мероприятия по уменьшению воздействия взаимного влияния, которые описаны выше в статье [16].

Недостаток знаний по вопросу взаимного влияния зданий влечет за собой нежелательные последствия как для нового строительства, так и для старого фонда. Следовательно, при проектировании зданий важно учитывать все факторы, которые могут повлиять на его работу, особенно в плотной городской застройке.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Потемкин Д. А., Очнев В. Н.* Взаимное влияние фундаментов близкорасположенных разнотипных высотных зданий // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2011. № 2. С. 241—245.
2. *Берловская Е. И., Пчелинцева Е. Ю.* Анализ взаимного влияния фундаментов зданий и сооружений в стесненных условиях городской застройки // Избранные доклады 63-й университетской науч.-технич. конф. студентов и молодых ученых. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. С. 187—191.
3. *Кашина Е. С., Габова В. В.* Оценка взаимного влияния фундаментов близкорасположенных разновысотных зданий // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2022. С. 35—38.
4. *Далматов Б. И.* Проектирование и устройство основ около нынешних зданий. Л. : ЛДНТП, 1976. 36 с.
5. Проектирование фундаментов в стесненных условиях городской застройки: учеб.-метод. пособие / С. В. Калошина, О. А. Шутова, А. В. Захаров, А. Б. Пономарев, М. И. Кудашева. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2021. 223 с.
6. *Колесников А. О., Костюк Т. Н., Попов В. Н.* Расчет вертикальной жесткости фундамента с учетом взаимного влияния свай // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 229—236.



7. Калошина С. В., Пономарев А. Б. Моделирование влияния нового строительства на существующую застройку в программном комплексе Plaxis 8.0 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. Вып. 17(36). С. 24—28.
8. Ухов С. Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов. М. : МИСИ, 1973. 118 с.
9. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Specific features and advantages of the finite element method in the form of classical mixed method as an alternative for the traditional finite element method // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Vol. 10. No. 4. Pp. 121—124.
10. Ignatiev A. V., Ignatiev V. A. Modified Algorithm for the Analysis of Thin Plates by the Finite Element Method in the Form of the Classical Mixed Method // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1766—1770.
11. Игнатьев А. В. Метод конечных элементов в форме классического смешанного метода (особенности и возможности применения) // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 3(260). С. 55—60.
12. Габова В. В. Применение смешанной формы МКЭ к расчетам стержневых систем: дисс... канд. техн. наук. Волгоград, 2011. 196 с.
13. Сотников С. Н., Симагин В. Г., Вершинин В. П. Проектирование и устройство фундаментов вблизи существующих сооружений: опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР. М. : Стройиздат, 1986. 94 с.
14. Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В. Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 329—335.
15. К вопросу о взаимном влиянии близко расположенных параллельных незаглубленных ленточных (плитных) фундаментов на связном основании / О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, И. Л. Бартоломей, Я. В. Качурин, И. В. Якименко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30(49). С. 50—70.

© Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С. Анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 90—98. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_90.

Об авторах:

**Габова Виктория Викторовна** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

**Быкодеров Максим Викторович** — канд. техн. наук, эксперт по разделу «Конструктивные решения», АУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации» (АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»); bmvwww@gmail.ru

**Кашина Екатерина Сергеевна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; keit\_cat08@mail.ru

---

**Viktoriya V. Gabova<sup>a</sup>, Maksim V. Bykoderov<sup>b</sup>, Ekaterina S. Kashina<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *AU YANAO "Management DEPD"*

## **ANALYSIS OF MUTUAL INFLUENCE OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING AND A NEARBY AUTOPARKING UNDERGROUND**

The article analyzes the mutual influence of multi-storey residential building and a nearby autoparking underground. Calculation of a residential building in the vicinity of an underground parking lot in the program complex LIRA-SAPR, the method of layerwise summation determined the precipitation of the building and critical distance at which additional sediment starts to appear has been determined.

**Key words:** mutual influence, layered summing method, additional sediment.

*For citation:*

Gabova V. V., Bykoderov M. V., Kashina E. S. [Analysis of mutual influence of a multi-storey residential building and a nearby autoparking underground]. *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], 2024, iss. 2, pp. 90—98. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_90.

*About authors:*

**Viktoriya V. Gabova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

**Maksim V. Bykoderov** — Candidate of Engineering Sciences, expert on the section "The constructive solutions" Autonomous institution of the Yamal-Nenets autonomous district "Management of state expertise of project documentation" (AU YANAO "Management DEPD"); bmvwww@gmail.ru

**Ekaterina S. Kashina** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; keit\_cat08@mail.ru

УДК 625.7/.8

**Т. К. Акчури<sup>а</sup>, А. Б. Бондарев<sup>б</sup>, В. А. Стурова<sup>б</sup>, А. С. Колобанов<sup>б</sup>,  
В. К. Жидков<sup>б</sup>, О. В. Бурлаченко<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Липецкий государственный технический университет*

## **ПЕРЕХОДНЫЕ ПЛИТЫ ИЗ СТАЛЕШЛАКОФИБРОБЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Описана структурная схема реализации результатов исследований и создания материалов на основе сталефиброшлакобетона, перечислены факторы, оказывающие влияние на работу переходных плит, и возникающие в результате этого дефекты и повреждения. Приведена оценка технического состояния переходной плиты, посчитан экономический эффект от применения нового материала взамен традиционного.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сталефиброшлакобетон, переходная плита, мостовое сооружение.

### **Введение**

Мосты и мостовые переходы играют немаловажную роль в дорожно-транспортной инфраструктуре, строительство этих сооружений помогает преодолеть как естественные, так и искусственно созданные препятствия, значительно сокращая расстояние и время, потраченное на объездные пути. Согласно статистике, за последние десятилетия скорость движения на автомобильных дорогах заметно возросла, и оказалось, что наиболее резкие толчки автомобили испытывают именно на подходах к мостам, где наблюдаются крайне небезопасные для быстродвижущегося транспорта просадки покрытия. С учетом того, что в среднем на каждый километр дороги приходится то или иное мостовое сооружение, все деформации насыпи возле искусственных сооружений приводят не только к резкому снижению скорости, но и увеличению себестоимости перевозок. Поэтому при строительстве мостов и мостовых переходов особое внимание уделяется сопряжению автомобильных дорог с насыпью — переходным плитам.

Конструктивно переходные плиты представляют собой плиту прямоугольной формы и прямоугольного сечения. В некоторых случаях применяются плиты с косым четырехугольным сечением с углом пересечения 50...75°. Конструкция переходной плиты может иметь консольный выступ для лучшего опирания на пролетное строение. Особенностью конструкции переходных плит сопряжения является возможность их изготовления с двусторонним выпуском арматуры для облегченной связки монтируемых плит. Благодаря этому можно сократить время монтажа изделий и увеличить прочность сопряжения, т. к. плиты после связки представляют уже единую совместно работающую, конструкцию. Традиционно изготавливаются железобетонные переходные плиты, которые применяются в мостовом строительстве для сопряжения автодорожных мостов, мостовых переходов и путепроводов с насыпями в зоне проезжей части. Однако в статье рассмотрена возможность применения плит из сталефиброшлакобетона (СФШБ) [1].

## Материалы и методы

На рисунке 1 приведена схема создания и практической реализации исследований материалов на основе сталефиброшлакобетона.

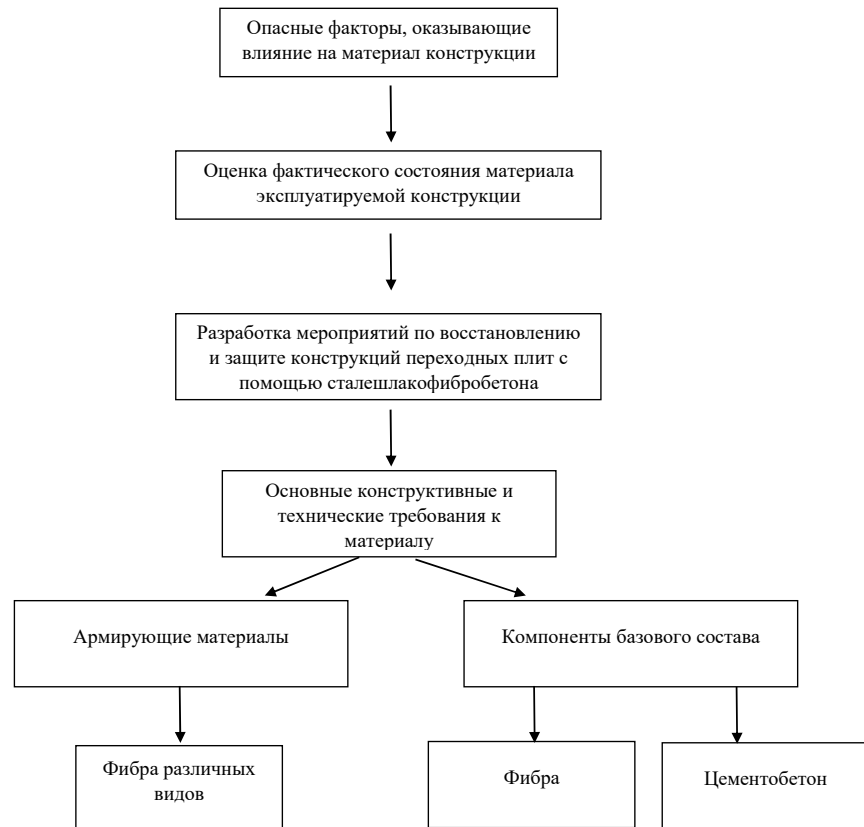


Рис. 1. Структурная схема создания и реализации результатов исследований материалов на основе СФШБ

Переходные плиты следует выполнять, как правило, сборно-монолитными из бетона класса В30, маркой по водопроницаемости W6, с морозостойкостью, соответствующей району строительства.

Уязвимым местом в конструкциях мостовых сооружений является сопряжение моста с насыпью. Типовая конструкция сопряжения мостового сооружения с насыпью подхода представляет собой железобетонную плиту, опирающуюся одним концом на шкафную стенку устоя, а другим — на железобетонный лежень на цементобетонном или щебеночном основании (рис. 2).

В соответствии с этой схемой процесс исследования работы конструкции протекает в несколько этапов.

На первом этапе выявляются основные опасные факторы, влияющие на работоспособность конструкции (переходной плиты).

На конструкцию переходной плиты оказывают влияние временные подвижные нагрузки (А14, Н14) и постоянно действующие — от нижележащих слоев дорожной одежды и от собственного веса плиты.



Рис. 2. Сопряжение мостового сооружения с насыпью

Существенное влияние на работу плит оказывает влажность грунта, его гранулометрический состав. В результате этих воздействий в рассматриваемой конструкции зарождаются и развиваются следующие дефекты и повреждения:

- волны и просадки плит глубиной 1...15 см;
- частичное вымывание грунта из-под переходной плиты;
- повреждение переходных плит со смещением;
- сползание с первоначального (проектного) места опирания;
- обрушение переходной плиты;
- обрушение свода дорожной одежды.

На рисунках 3—6 приведены основные дефекты и повреждения переходных плит на примере путепровода в районе п. Новая Жизнь в Липецкой области. Резкие переломы продольного профиля вызваны сползанием переходных плит с упоров на шкафной стенке и их обрушением. Образование просадок и перепадов высот за шкафной стенкой возможны из-за различных жесткостей моста и подходов, а также несовершенства конструкций деформационных швов [2].



Рис. 3. Просадка переходной плиты



Рис. 4. Поперечная трещина в переходной плите



Рис. 5. Сеть трещин с шириной раскрытия до 5 мм

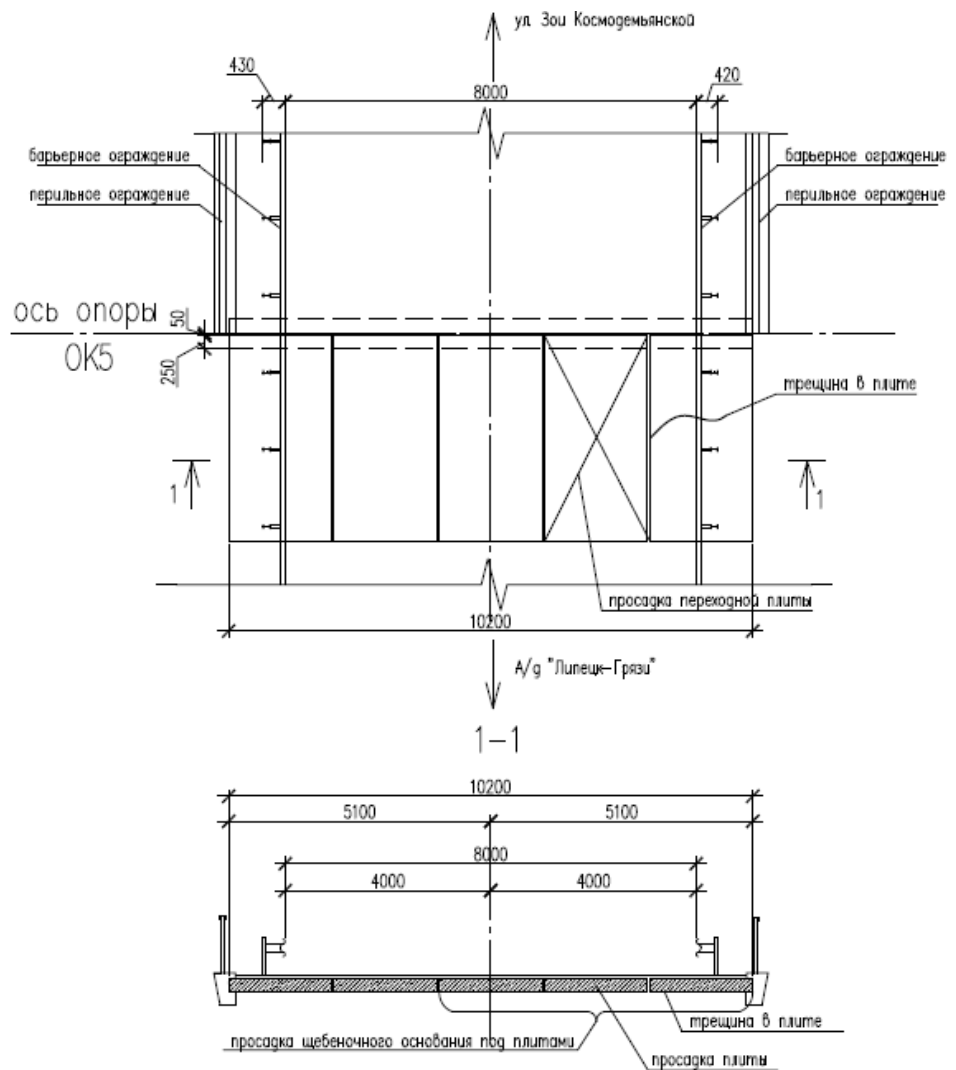


Рис. 6. Схема повреждений переходных плит

Концентрация горизонтальных сил при резком изменении жесткости покрытия в стыке между мостовым сооружением и подходами ведет к сдвигу слоев асфальтобетонного покрытия. Колебание конструкции автомобиля (его подрессорной массы), пересекающего зону просадки переходной плиты, ведет к образованию поперечных наплывов [3].

На втором этапе производится оценка фактического состояния материалов эксплуатируемой конструкции, определяется ее износ в соответствии с ОДМ 218.0.018-05<sup>1</sup>. Техническое состояние сопряжения моста с насыпью оценивается по техническому состоянию переходной плиты, а также по значениям профиля покрытия на участке 25 м с каждой стороны моста. Наибольшее влияние на износ сопряжения моста с насыпью оказывает наличие просадок перед мостом. Состояние сопряжения по показателю «переходная плита» оценивается по таблице.

*Оценка технического состояния переходной плиты*

Вид повреждения (дефекта)	Степень развития дефекта	Износ, И <sub>з</sub> , %
<b>Вымывание грунта из-под переходных плит:</b>		
Частичное, из-под крайних плит	На длине: до 1,0 м	5
	до $l_{пл}/2$	10
	более $l_{пл}/2$	20
Значительное, на большой площади $F$	$F = 50\%$ (от общего площади переходных плит)	40
	$F = 50\%$	60
	$F > 50\%$	70
Полное вымывание грунта под переходными плитами и за ригелем устоя с образованием глубоких ниш	$F = 100\%$	80
<b>Смещение и деформация плит</b>		
Смещение плит с мест опирания без обрушения	крайние плиты	20
	50 % средних плит	40
	100 % всех плит	60
Обрушение плит или их разрушение	крайние плиты	50
	50 % средних плит	70
	> 50 % всех плит	80
Обрушение плит с обрушением свода одежды	по крайним участкам	70
	на ширине $\geq 50\%$ от ширины проезжей части	100

На третьем этапе разрабатываются мероприятия по восстановлению и защите конструкций переходных плит из СФШБ в конструкции гибкой неразрезной переходной плиты. На рисунках 7 и 8 приведены схемы таких плит и их работа на различных этапах загрузки.

Предпосылкой для расчета является предположение, что переходная плита заделана одним концом в стыке моста и подхода, а другим концом опирается на лежень. При этом работа переходной плиты происходит в две стадии. Сначала происходит смещение плиты вместе с лежнем на величину  $\delta$

<sup>1</sup> ОДМ 218.0.018-05. Определение износа конструкций и элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах. URL: <https://elima.ru/docs/?id=4609>.

(рис. 8). На второй стадии работы к постоянной нагрузке добавляется временная подвижная нагрузка НК-100 (Н14), происходит поворот сечения в заделке на угол  $\alpha$ . Далее, зная перепад высот моста и подхода, характеризующийся высотой  $\Delta$  и предельным переломом  $i_{пр}$ , определим достаточную длину плиты по условиям плавности:

$$l = \frac{\delta}{i_{пр}}, \quad (1)$$

где  $\delta = \Delta_0$  — величина просадки плит;  $i_{пр}$  — предельный угол перелома продольного профиля на подходе.

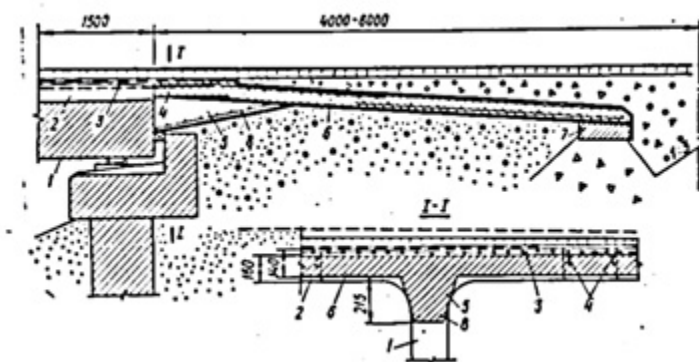


Рис. 7. Гибкая переходная плита температурной неразрезности над устоем: 1 — стенка балки; 2 — плита балки; 3 — арматура плиты; 4 — анкерение плиты; 5 — ребро плиты; 6 — гибкая переходная плита; 7 — лежень; 8 — арматура ребра плиты

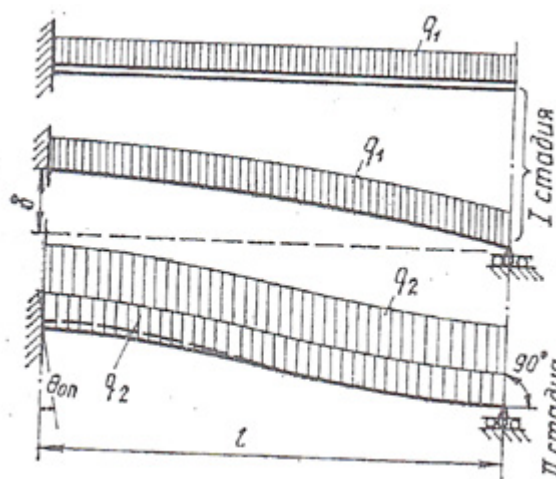


Рис. 8. Деформированное состояние гибкой переходной плиты

Определяем необходимое значение жесткости, обеспечивающее перемещение свободного конца переходной плиты, вызванное просадкой переходной плиты:



$$j = \frac{a_1 l^4}{8EJ}, \quad (2)$$

где  $a_1$  — равномерно распределенная нагрузка от веса конструкции ездового полотна;  $l$  — длина плиты.

Определяем расчетную величину пролета балки при действии нагрузки  $a_1$ :

$$\begin{aligned} \sum \Theta^{\pi} &= \frac{ql^3}{24EJ} - \frac{M_{\text{оп}} l}{3EJ} - \frac{\delta}{l} + \Theta = 0, \\ \sum \Theta^{\text{np}} &= \frac{ql^3}{24EJ} - \frac{M_{\text{оп}} l}{3EJ} + \frac{\delta}{l} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

откуда

$$l^4 + 24 \frac{EJ}{q} \Theta_{\text{оп}} l - 72 \frac{EJ}{1} \delta = 0, \quad (4)$$

тогда

$$M_{\text{оп}} = \frac{ql^2}{8} + 3 \frac{EJ}{l} \left( \frac{\delta}{l} - \Theta_{\text{оп}} \right). \quad (5)$$

Полученные значения в (4) и (5) сравниваем с полученными в (3). По (5) устанавливается величина изгибающего момента и даются рекомендации по армированию плиты.

Плита крепится к пролетному строению через сетку, заложенную в стяжку на расстоянии от края балки 1,5 м; 15 % арматуры в виде стержней заводится на расстоянии 1,5 м встык сборных конструкций плиты проезжей части. Эта арматура продлевается в плите в соответствии с эпюрой моментов. Пролетная часть плиты армируется сеткой.

Наиболее приемлема величина толщины плит для насыпей высотой до 8,0 м — 10...15 см. Для восприятия опорного момента и во избежание концентрации напряжений в месте заделки стыка следует утолщать плиту до 20 см. Остальные этапы создания СФШБ изложены в [4—9].

#### **Технико-экономическое обоснование применения исследуемых материалов в конструкциях переходных плит**

Оценка годовой экономической эффективности применения исследуемых материалов в конструкциях переходных плит проведена по методике, разработанной В. В. Потуровым [10].

В соответствии с этой методикой экономическая эффективность применяемых решений оценивается по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_0 + E_{\text{н}} K_c) - (C_{\text{н}} + E_{\text{н}} K_{\text{н}}), \quad (6)$$

где  $C_0$  и  $C_{\text{н}}$  — годовые эксплуатационные расходы по традиционному и новому вариантам конструкций. В качестве традиционного применяется армирование плиты обычной стальной арматурой (рис. 9), новый же вариант —

это плита, изготовленная с применением СФШБ. Далее,  $K_n$  и  $K_c$  — капиталовложения по вариантам;  $E_n$  — экономический эффект.

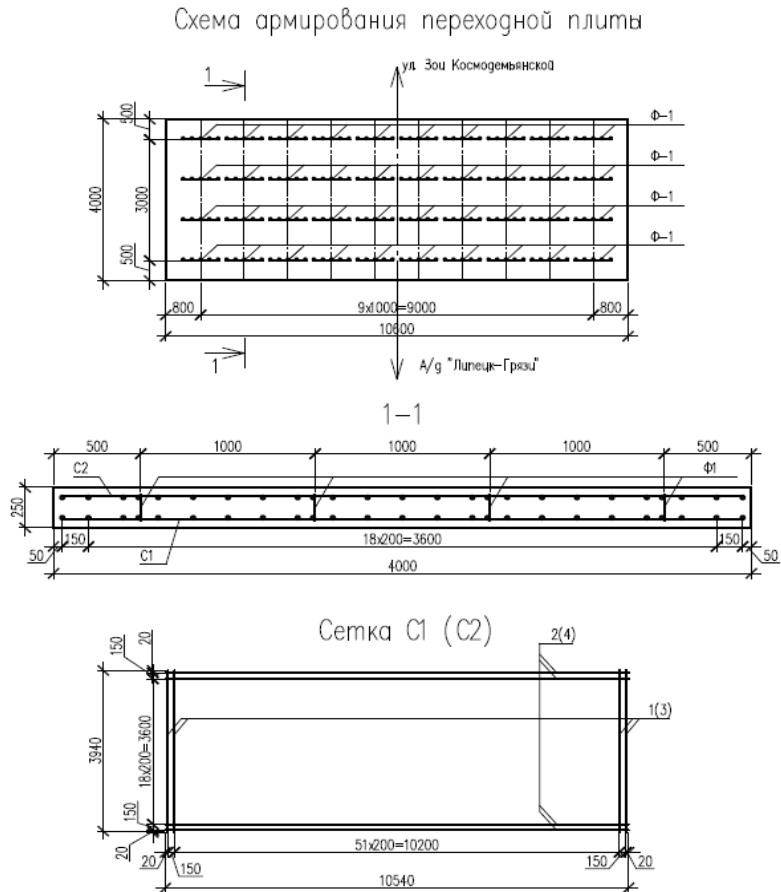


Рис. 9. Схема армирования переходной плиты по традиционной технологии

Экономическая эффективность применяемых решений с учетом эксплуатационных расходов составила 19 265,2 руб.

#### Выводы

Таким образом, замена переходных плит, выполненных по традиционной технологии и с типовым армированием на плиту из СФШБ дает экономический эффект в размере 19,3 т. руб.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стурова В. А. Сталефибробетон с применением отходов местных производств для транспортных сооружений // *Строительные материалы*. 2023. № 1-2. С. 44—49.
2. Митин Д. И. Проектная документация. Ремонт мостового перехода через реку Птань на км 32+459 автомобильной дороги Данков — Теплое — Воскресенское — граница Тульской области в Данковском районе Липецкой области. Липецк : ООО «ЛипецкНИЦстройпроект», 2022.
3. Бондарев Б. А., Черноусов Н. Н., Черноусов Р. Н., Стурова В. А. Исследование разрушения дорожных плит из сталефиброшлакобетона при продавливании // *Транспортное строительство*. 2018. № 7. С. 10—12.

4. Полимерные композиционные материалы в переходных плитах сооружений транспортной инфраструктуры / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, П. В. Борков, В. К. Жидков, Д. А. Копалин, Р. Е. Савельев // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2022. № 3(49). С. 62—71.

5. Основные дефекты и повреждения конструкций транспортных сооружений — переходных плит, элементов покрытия ездового полотна и возможность их устранения / В. А. Стурова, Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, А. Б. Бондарев, В. К. Жидков // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : материалы IX-й международ. науч.-практ. конф. Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова, 2022. С. 180—183.

6. Бондарев Б. А., Стурова В. А., Ливенцева А. А. Применение фибробетона в транспортных сооружениях // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международ. академических чтений. Курск : Университетская книга, 2023. С. 243—247.

7. Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии / Н. Н. Черноусов, Б. А. Бондарев, В. А. Стурова, А. Б. Бондарев, А. А. Ливенцева // Строительные материалы. 2022. № 5. С. 58—67.

8. Бондарев Б. А., Стурова В. А., Костин С. В. Применение сталефиброшлакобетона в элементах конструкций транспортных сооружений // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве: материалы международ. науч.-практ. конф. Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2019. С. 14—18.

9. Бондарев Б. А., Черноусов Н. Н., Черноусов Р. Н., Стурова В. А. Сталефибробетон в дорожных покрытиях // Мир дорог. 2017. № 101. С. 67—68.

10. Потуроев В. В. Полимербетоны. М. : Стройиздат, 1987. 268 с.

© Акчурин Т. К., Бондарев А. Б., Стурова В. А., Колобанов А. С.,  
Жидков В. К., Бурлаченко О. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Переходные плиты из сталешлакофибробетона в конструкциях мостовых сооружений / Т. К. Акчурин, А. Б. Бондарев, В. А. Стурова, А. С. Колобанов, В. К. Жидков, О. В. Бурлаченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 99—108. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_99.

Об авторах:

**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; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.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

**Стурова Виктория Андреевна** — ассистент каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398004, г. Липецк, ул. Московская, 30; v-livenceva@mail.ru

**Колобанов Алексей Сергеевич** — канд. техн. наук, доц., секретарь ученого совета университета, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; kolobanov\_as@stu.lipetsk.ru

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

**Бурлаченко Олег Васильевич** — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, зам. директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

**Talgat K. Akchurin<sup>a</sup>, Alexander B. Bondarev<sup>b</sup>, Victoria A. Sturova<sup>b</sup>,  
Aleksei S. Kolobanov<sup>b</sup>, Vladimir K. Zhidkov<sup>b</sup>, Oleg V. Burlachenko<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Lipetsk State Technical University*

## **TRANSITION PLATES FROM STEEL SLAG FIBER CONCRETE IN BRIDGE STRUCTURES**

The work describes a structural diagram of the creation and implementation of the results of research into materials based on steel fiber slag concrete (SFSC) lists the factors that influence the operation of the slabs and the resulting defects and damage. An assessment of the technical condition of the transition slab is given and the economic effect of using a new material instead of the traditional one is calculated.

**Key words:** steel fiber slag concrete, transition slab, bridge structure.

*For citation:*

Akchurin T. K., Bondarev A. B., Sturova V. A., Kolobanov A. S., Zhidkov V. K., Burlachenko O. V. [Transition plates from steel slag fiber concrete in bridge 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], 2024, iss. 2, pp. 99—108. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_99.

*About authors:*

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

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

**Victoria A. Sturova** — Assistant of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; v-livenceva@mail.ru

**Aleksei S. Kolobanov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Lipetsk State Technical University, 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; kolobanov\_as@stu.lipetsk.ru

**Vladimir K. Zhidkov** — Postgraduate student of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; mailbox@stu.lipetsk.ru

**Oleg V. Burlachenko** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

УДК 691.5:546.46

**Т. К. Акчурин, А. В. Савченко, Г. П. Губаревич**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ОБЖИГА ГИДРОКСИДА МАГНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ЕГО ОСНОВЕ**

Изложены теоретические основы процессов термической диссоциации карбоната магния и гидратации оксида магния. Исследованы свойства магнезиального вяжущего, полученного обжигом гидроксида магния. Даны практические рекомендации по совершенствованию технологии обжига  $Mg(OH)_2$  для производства строительных магнезиальных вяжущих. Определен оптимальный режим обжига гидроксида магния.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** гидроксид магния, оксид магния, хлормagneзиевые рассолы, магнезиальное вяжущее, гидратация, твердение, обжиг.

### **Теоретические основы процессов термической диссоциации карбоната магния и гидратации оксида магния**

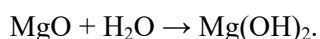
Основу магнезиального цемента (цемента Сореля) составляет каустический (kaustikos — щелочной) оксид магния  $MgO$ . Каустический  $MgO$  способен растворяться в воде и давать при этом щелочную реакцию в отличие от спеченной кристаллической магнезии. Свойства  $MgO$ , в особенности его способность взаимодействовать с водой, зависят от физико-химических характеристик и условий термического разложения содержащего его твердого материала.

При разложении (диссоциации, дегидратации) твердого вещества происходит локальная деформация решетки, обусловленная тем, что новообразованная фаза стремится перейти в свою стабильную форму. Образующиеся при этом соединения обладают различной химической активностью в зависимости от модификации или тонкодисперсности.

Образование  $MgO$  для магнезиальных вяжущих термическим разложением магнезита и доломита достигается по реакциям:



Температура диссоциации магнезита при парциальном давлении  $CO_2$  в 1 атм равна  $640^\circ C$ , доломита соответственно —  $735^\circ C$ . В производственных условиях с целью ускорения процесса магнезит обжигается при  $700...800^\circ C$ , а доломит — при  $800...850^\circ C$ . Образующийся при этом  $MgO$  имеет скрытокристаллическое строение, благодаря чему он может реагировать с водой с образованием гидроксида магния, который способен к образованию кристаллического сростка, т. е. к твердению:



Повышение температуры обжига магнезита и доломита сопровождается рекристаллизацией  $MgO$ , интенсивность которой зависит от температуры обжига, продолжительности действия максимальной температуры и характера

газовой среды при обжиге. Скорость гидратации максимальна для MgO, полученного в интервале температур 600...800 °С, и минимальна для спекшегося магнезита. По данным [1—5], MgO, полученный обжигом при 600...800 °С, полностью гидратируется через 3 дня, полученный при 1000...1100 °С — через 3 недели, а при 1200...1300 °С — через 3 года. Гидратация на 70 % MgO, полученного обжигом при 1500 °С, заняла 6 лет.

Гидроксид магния — новое сырье для получения MgO для вяжущего. Минерал брусит — кристаллический гидроксид магния — дегидратируется при 420...505 °С, т. е. при более низкой температуре, чем диссоциирует магнезит. Образующийся при этом скрытно-кристаллический исключительно активный MgO (каустический брусит) еще и более долговечен, т. к. в нем практически отсутствуют даже следы оксида кальция.

По некоторым данным [5, 6] уже при 350 °С образуется так называемый метабрусит, который является очень активным и легко гидратируется. Установлено, что MgO, полученный из гидроксида, трудно отдает остаток воды, содержание которой даже после обжига при 1000 °С составляет 1 %.

Активность MgO объясняется поверхностной энергией ионных кристаллов, которая увеличивается с уменьшением величины кристаллов. Оксид магния с повышенным количеством свободной энергии является нестабильным и стремится перейти в более стабильную форму — периклаз. Этот переход ускоряется в присутствии воды.

При исследовании адсорбционных свойств MgO, полученного обжигом гидроксида магния при 500, 800, 1000 и 1200 °С, установлено, что с повышением температуры и времени обжига увеличиваются размеры пор продукта и уменьшается их объем. Но еще быстрее уменьшается удельная поверхность MgO. Максимальная удельная поверхность MgO, обожженного на воздухе при 500 °С, составила 40 м<sup>2</sup>/г, обработанного в вакууме при 650 °С — 114 м<sup>2</sup>/г [6].

Известно, что MgO, полученный из хлористого и азотнокислого магния или гидроксида и карбоната магния, показывает весьма различную реакционную способность к воде. Скорость роста кристаллов периклаза больше, если гидратируется MgO, полученный обжигом брусита или основного карбоната магния. Максимальная активность MgO достигается при 550...700 °С.

Процесс гидратации MgO разные исследователи связывают с его свойствами: величиной зерен, пористостью, удельной поверхностью и т. д.

По данным [7, 8], MgO при взаимодействии с водой образует соединение состава MgO · 0,5H<sub>2</sub>O, продукт содержит как оксид, так и гидроксид магния. Предполагается также двухступенчатая гидратация MgO:

- 1) быстрая поверхностная гидратация со связыванием до 1,4 % H<sub>2</sub>O;
- 2) медленное взаимодействие, когда образуется соединение состава MgO · 1,5H<sub>2</sub>O.

По данным [9—11], гидроксид магния, обожженный при 640 °С, быстро связывает до 40 % воды. До образования гидроксида магния происходит адсорбция воды, равновесие которой устанавливается до начала гидратации. Способность адсорбировать водяные пары у MgO тем больше, чем ниже температура обжига гидроксида магния.

По данным [12, 13], обезвоженный в температурном интервале 350...1100 °С брусит адсорбирует до 1 моль H<sub>2</sub>O на 1 моль MgO. Предпола-

гается, что молекулы воды вначале связываются на наружной поверхности MgO, а потом внедряются в решетку. Молекулы воды, которые внедряются в решетку MgO, связываются стехиометрически ионом  $O^{2-}$ , причем 1/3 их связана сильно, а 2/3 слабо. Прочность связи зависит от ориентации слоев. Количество адсорбированной воды пропорционально удельной поверхности MgO.

Известно, что гидратация оксида магния начинается с адсорбции водяного пара на его поверхности, а потом следует химическая реакция между адсорбированной водой и оксидом. Но скорость гидратации MgO зависит от специфической поверхности микропор, а не от удельной поверхности оксида [14, 15]. При расчете энергии адсорбции ионов  $OH^-$  в зависимости от места их нахождения установлено, что наиболее значительна она на углах кристаллов, меньше — на ребрах и плоскостях. Гидроксильные группы связаны с дефектами решетки MgO.

В связи с очень большим разбросом результатов исследований часто говорят об активном состоянии MgO, что связывают с различием в удельной поверхности, в поверхностной энергии, дефектами в решетке. Преходящее активированное состояние MgO связано с переориентацией его структуры с дефектами на структуру без дефектов [16—19].

#### **Твердение магниальных вяжущих**

Гидратационное схватывание и твердение вяжущих на основе MgO может осуществляться за счет взаимодействия его с водой, но прочность бетона при этом невелика. При растворении MgO создаются высокие пересыщения, и концентрация его в жидкой фазе может достигать 0,924 г/л, что примерно в 150 раз больше концентрации MgO в насыщенном растворе гидроксида магния. Особенности гидратационного твердения MgO являются малые скорости растворения оксида и кристаллизации гидроксида, поэтому использование таких систем в изготовлении строительных смесей нерационально.

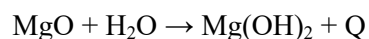
Заметно улучшает результаты процессов гидратации и твердения использование вместо воды водных растворов магниальных солей —  $MgCl_2$  и  $MgSO_4$  или раствора  $FeSO_4$ . Солевые добавки значительно повышают растворимость MgO, но почти не влияют на растворимость гидроксида. Ускоряется достижение и увеличение степени пересыщения, образуются гелеобразные продукты, интенсифицируется процесс кристаллизации гидроксида магния, причем кристаллы образуются преимущественно игольчатой формы. Одновременно происходит связывание части  $Mg(OH)_2$  в оксихлорид или окисульфат, устойчивые только в растворе данной соли, но легко гидролизующиеся в воде. Состав основных солей непостоянен и зависит от концентрации солевого раствора и соотношения MgO/соль магния. Наиболее стабильной формой в системе MgO —  $MgCl_2$  —  $H_2O$  при концентрации раствора  $MgCl_2$  более 1,5 моль/л является соединение  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$  [3, 4, 20—23]. При меньшей концентрации хлорида устойчив гидроксид магния, а оксихлорид разлагается на хлорид магния, переходящий в раствор, и гидроксид, сохраняющийся в осадке. Метастабильная растворимость MgO в растворе хлорида магния достигает 26,86 г/л против 0,924 г/л в воде.

В реальных вяжущих и бетонах первоначально выделяется метастабильный продукт  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ , перекристаллизующийся в триоксихлорид  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$  в случае сохранения высокой концентрации  $MgCl_2$

(более 3 моль/л). Если же концентрация  $MgCl_2$  за счет частичного его связывания снижается, то возможны либо длительное существование фазы  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$  (область концентрации  $MgCl_2$  от 3 до 1,5 моль/л), либо кристаллизация  $Mg(OH)_2$  (концентрация хлорида магния менее 1,5 моль/л) с разложением выделившегося ранее оксихлорида на гидроксид магния и растворяющийся хлорид. Переход метастабильного оксихлорида  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$  в стабильный  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$  сопровождается падением прочности продуктов твердения тем более, чем ниже содержание вяжущего в бетоне и выше содержание жидкой фазы.

Практически магнезиальные вяжущие при испытании по ГОСТ 1216—87 затворяют раствором  $MgCl_2$  с расходом безводной соли, близким к 25 % массы  $MgO$ <sup>1</sup>. Отсюда следует, что тесто или бетон с крупным непористым заполнителем содержат два основных продукта твердения: гидроксид магния и оксихлорид магния. Если же бетон содержит влагоемкий заполнитель (опилки, стружку и др.), то за счет повышения водоцементного отношения расход соли возрастает до 40...50 % от массы  $MgO$  и в таких условиях возможно локальное образование триоксихлорида магния.

Основным достоинством магнезиального цемента является быстрота твердения и высокая конечная прочность, что позволяет обойтись без тепловых затрат на твердение изделий на его основе. Затворенный водным раствором хлористого магния плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> через сутки твердения на воздухе он имеет прочность на растяжение не менее 1,5 МПа, что составляет 35...50 % наибольшего значения. Образцы из трамбованного раствора на этом цементе состава 1:3 по массе через 28 сут воздушного твердения имеют прочность на сжатие 40...60 МПа. При хорошем качестве сырьевых материалов прочность таких образцов может достигать 80...100 МПа. Основным недостатком магнезиальных вяжущих является неравномерное изменение объема при твердении, что приводит к трещинообразованию в изделиях и материалах на их основе. При реакции



количество выделившегося тепла немногим меньше, чем при гидратации оксида кальция. Однако выделение тепла при гидратации  $MgO$  практически не наблюдается, поскольку взаимодействие протекает медленно, а образующееся тепло выделяется в течение длительного периода. Гидроксид магния, будучи тонкодисперсным продуктом, покрывает частицы  $MgO$  и тормозит диффузию воды. Торможение гидратации  $MgO$ , как указывалось выше, может быть очень вредным и опасным при твердении изделий на основе магнезиального цемента.

Чем больше удельная поверхность  $MgO$ , тем сильнее протекает гидратация на его поверхности в ранние сроки. Так как процесс гидратации экзотермический, то при локальном повышении температуры довольно быстро происходит кристаллизация гелеобразного гидроксида магния. Образуются трещины, которые облегчают диффузию воды к негидратированному оксиду, и гидратация продолжается.

<sup>1</sup> ГОСТ 1216—87. Порошки магнезитовые каустические. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014092?ysclid=lxktq6lipg801941179>.

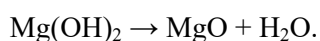


Для устранения отрицательного эффекта запоздалой гидратации MgO необходимо создать такие условия, при которых большая часть оксида успевала бы гидратироваться во время затворения. Это достигается обжигом магниесодержащих исходных материалов при возможно низких температурах с целью получения MgO в самой активной форме. Технологией производства необходимо предусмотреть получение вяжущего с максимально развитой удельной поверхностью зерен. Процесс твердения вяжущего необходимо отрегулировать таким образом, чтобы напряжение в результате запоздалой гидратации MgO было минимальным и не вызывало трещинообразования.

#### **Исследование свойств магниального вяжущего, полученного обжигом гидроксида магния**

В связи с вышеизложенным естественно предположить, что гидроксид магния является наиболее перспективным сырьем для получения минерального вяжущего, поскольку позволяет получить самый активный MgO.

Теоретически разложение гидроксида магния с образованием MgO происходит при температуре 400...550 °С:



Количество отделившейся при полном разложении Mg(OH)<sub>2</sub> воды составляет 30,8 %.

Полученный в оптимальном режиме осаждения гидроксид магния отфильтровывали на центрифуге, промывали в 10...15 объемах воды до удаления остаточного хлора, высушивали и измельчали в лабораторной мельнице.

Термическую обработку материала осуществляли в муфельной печи в стационарном режиме. Порошок гидроксида магния при толщине слоя 30 мм обжигали в интервале температур 300...800 °С в течение 1 ч (табл. 1) или до постоянной массы, т. е. до прекращения процесса дегидратации (табл. 2, рис.). За продолжительность обжига принимали время изотермической выдержки, не включая время подъема температуры. О полноте дегидратации гидроксида магния судили по потерям при прокаливании.

Таблица 1

*Физико-химические свойства оксида магния*

Температура обжига, °С	Потери при прокаливании, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Размер частиц, м·10 <sup>-10</sup>	Прочность в суточном возрасте, МПа
—	30,0	2,40	22,6	1300	—
300	30,0	2,40	23,1	1300	—
400	8,50	3,10	85,1	250	31,6
500	3,10	3,30	98,3	190	45,7
600	1,75	3,30	72,3	260	39,3
700	1,22	3,40	69,3	280	—
800	0,55	3,45	58,2	290	—

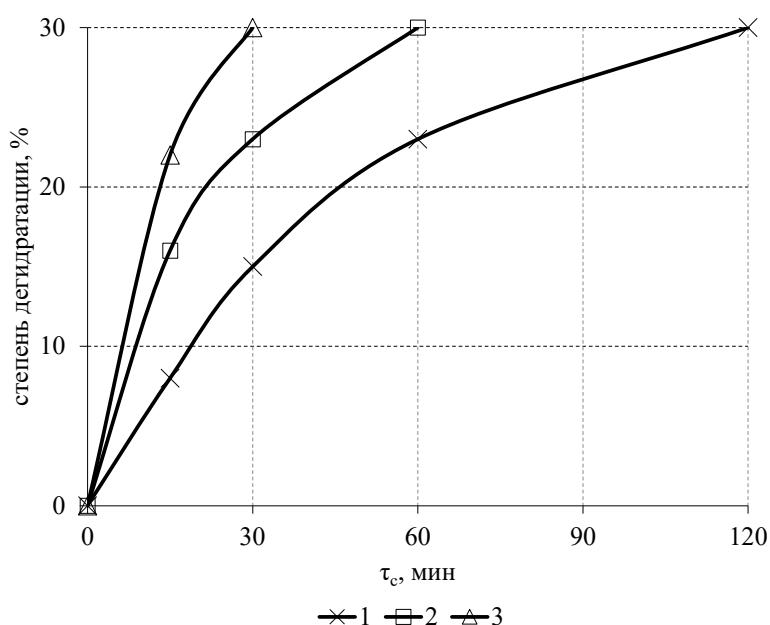
Как показали исследования (см. табл. 1), дегидратация начинается при 400 °С. Одновременно продукт быстро размельчается, достигая максимума удельной поверхности после обжига при 500 °С. Полученное при этой

температуре вяжущее наиболее активно (см. табл. 2) В дальнейшем с повышением температуры до 800 °С удельная поверхность сначала медленно, а затем быстро уменьшается, продукт уплотняется и падает его активность. То же происходит и с увеличением времени обжига.

Таблица 2

*Физико-химические и механические свойства магнезиальных вяжущих, полученных из рассола бишофита*

Температура обжига, °С	Химический состав, %		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Просев через сито № 02	Сроки схватывания, мин		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут	
	MgO	CaO				начало	конец	1	28
400	98,0	0,87	3,4	—	100	—	—	32,9	59,8
500	98,2	0,85	3,41	550	100	28	90	43,6	73,0
600	98,6	0,87	3,4	—	100	—	—	37,4	68,3



Кривые обжига Mg(OH)<sub>2</sub> до полного разложения при температуре, °С:  
1 — 400; 2 — 500; 3 — 600

Полученные продукты термического разложения были подвергнуты домолу и испытаны в соответствии с ГОСТ 2642.8—2017<sup>2</sup> и ГОСТ 1216—87. Для определения прочности порошок MgO смешивали с раствором бишофита плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> до получения теста нормальной густоты (ГОСТ 1216—87). Из теста формовали образцы-кубики с ребром 20 мм, которые испытывали на прочность при сжатии в суточном и 28-суточном возрасте воздушного твер-

<sup>2</sup> ГОСТ 2642.8—2017. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения оксида магния. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146564?ysclid=lxktrtj3p1466416629>.

дения, и образцы-восьмерки, испытываемые на прочность при растяжении — в суточном возрасте. Результаты испытаний показали, что полученное вяжущее имеет активность в среднем 60...70 МПа. Прочность при сжатии в суточном возрасте составляет 50...60 % от 28-суточной. Прочность при растяжении — 2,0...2,2 Н/мм.

Определен оптимальный режим обжига гидроксида магния при температуре 500 °С в течение 1 ч.

#### Выводы

Полученный по разработанному способу MgO обладает высокой чистотой ( $MgO \geq 98\%$ ,  $CaO < 1\%$ ), степенью белизны и по составу отвечает требованиям ГОСТ 1216—87 к порошкам магнезитовым каустическим марки ПМК-90 и ГОСТ 844—79 к магнезиям жженым техническим марок А, Б, В<sup>3</sup>.

Получены быстротвердеющие ( $R_{сyt} = 30...40$  МПа), высокопрочные ( $R_{28} = 60...70$  МПа) вяжущие. Конструкционно-теплоизоляционные и отделочные материалы на их основе не требуют тепловых затрат на твердение и обладают хорошими эксплуатационно-техническими и декоративными качествами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Виноградов В. Н.* Сырьевая база промышленности вяжущих веществ СССР. М. : Недра, 1971. С. 93—96.
2. *Tai C. Y., Tai C.-T., Chang M.-H., Liu H.-S.* Synthesis of Magnesium Hydroxide and Oxide Nanoparticles Using a Spinning Disk Reactor // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2007. No. 46. Pp. 5536—5541.
3. Compressive strength of fly ash magnesium oxychloride cement containing granite wastes / L. Ying, Y. Hongfa, Z. Lina, W. Jing, W. Chengyou, T. Yong-Shan // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 38. Pp. 1—7.
4. *Yunsong J.* A new type of light magnesium cement foamed material // *Materials Letters*. 2002. Vol. 56. P. 353—356.
5. *Zeyneb C., Sema (Akyil) E., Sabriye (Doyurum) Y.* Magnesium Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Uranium Sorption Properties // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2012. Vol. 31. Iss. 4. Pp. 536—543.
6. *Вайвад А. Я.* Магнезиальные вяжущие вещества. Рига : Зинатне, 1971. 332 с.
7. *Позин М. Е.* Технология минеральных солей. Л. : Химия, 1974. 792 с.
8. Structural, morphological and optical properties of MgO nanoparticles for antibacterial applications / M. R. Bindhu, M. Umadevi, M. K. Michea, M. V. Arasu, N. A. Al-Dhabi // *Materials Letters*. 2016. Vol. 166. Pp. 19—22.
9. *Волженский А. В., Бузов Ю. С., Колокольников В. С.* Минеральные вяжущие вещества. М. : Стройиздат, 1986. 476 с.
10. *Шойхет Б. А.* Магнезиальные продукты из природных рассолов и минералов. М. : Л. : Химия, 1966. 184 с.
11. *Дворкин Л. И., Дворкин О. Л.* Строительные минеральные вяжущие материалы: учебное пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2011. 544 с.
12. *Черепанова Т. И., Муратова М. И.* Окись магния и ее получение из магнезийсодержащего сырья // *Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей: сб. науч. тр. Т. 2.* СПб. : ЛИК, 2001. С. 217—224.
13. *Вассерман И. М.* Химическое осаждение из раствора. Л. : Химия, 1980. 206 с.
14. *Акчурун Т. К., Савченко А. В., Дробин И. Ю.* Совершенствование процесса обжига гидроксида магния с целью получения магнезиального вяжущего // *Аспирант*. 2021. № 3(60). С. 34—37.

<sup>3</sup> ГОСТ 844—79. Магнезия жженная техническая. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018987?ysclid=lxkttcj9ro201138725>.

15. *Киянец А. В., Дьяков К. В., Головнев С. Г.* Магнезиальные бетоны и растворы в современном строительстве // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2009. № 1. С. 74—75.
16. *Зырянова В. Н., Лыткина Е. В., Бердов Г. И.* Повышение механической прочности и водостойкости магнезиальных вяжущих веществ при введении минеральных наполнителей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2010. № 3(615). С. 21—26.
17. *Бердов Г. И., Машкин Н. А.* Перспективные направления совершенствования составов и технологии строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 4(676). С. 45—57.
18. *Ахмедов А. Д., Рыжов Н. М., Дубровина Ю. Ю.* Влияние процентного соотношения компонентов магнезиального вяжущего на реологические свойства // Научные исследования XXI века. 2020. № 5(7). С. 13—16.
19. *Зырянова В. Н., Лыткина Е. В., Бердов Г. И., Верещагин В. И.* Влияние минеральных наполнителей на свойства магнезиальных вяжущих // Техника и технология силикатов. 2010. Т. 17. № 2. С. 1—7.
20. *Сычев М. И., Андриянов А. М.* Способ получения гидроксида магния. А. с. 1074821 СССР. МКИ с OIF 5/22. Оpubл. 23.02.84. Бюл. № 7.
21. *Теличенко В. А., Ворошилов Г. Н.* Способ получения гидроксида магния. А. с. 1318526 СССР. МКИ с OIF 5/22. Оpubл. 05.04.87. Бюл. № 23.
22. *Акчурин Т. К., Ананьина С. А., Никитин И. Н.* Перспективы освоения и технологии переработки бишофита Волгоградских месторождений : монография. Волгоград : Изд-во ВолгГАСА, 1995. 116 с.
23. *Gur'eva V. A.* Application of magnesium-bearing technogenic raw material in the production of decorative-finishing ceramics // Glass and Ceramics. 2009. Vol. 66. Iss. 3—4. Pp. 95—98.

© Акчурин Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

*Акчурин Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П.* Оптимизация режима обжига гидроксида магния и получение минерального вяжущего на его основе // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 109—117. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_109.

Об авторах:

**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; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

**Савченко Алексей Владимирович** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; savtchenko2@mail.ru

**Губаревич Галина Павловна** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ggubarevich@mail.ru

**Talga K. Akchurin, Aleksei V. Savchenko, Galina P. Gubarevich**

**Volgograd State Technical University**

## **OPTIMIZATION OF MAGNESIUM HYDROXIDE FIRING MODE AND PRODUCTION OF MINERAL BINDER BASED ON IT**

The theoretical foundations of the process of thermal dissociation of magnesium carbonate and hydration of magnesium oxide are outlined. The properties of magnesium binder obtained by firing magnesium hydroxide were studied. Practical recommendations are given for improving the technol-

ogy of firing  $Mg(OH)_2$  for the production of construction magnesium binders. The optimal firing regime for magnesium hydroxide has been determined.

**Key words:** magnesium hydroxide, magnesium oxide, magnesium chloride brines, magnesium binder, hydration, hardening, firing.

*For citation:*

Akchurin T. K., Savchenko A. V., Gubarevich G. P. [Optimization of magnesium hydroxide firming mode and production of mineral binder based on it]. *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], 2024, iss. 2, pp. 109—117. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_109.

*About authors:*

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

**Aleksei V. Savchenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; savchenko2@mail.ru

**Galina P. Gubarevich** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ggubarevich@mail.ru

УДК 697.245

**А. Д. Легкий, И. В. Стефаненко, Н. Ю. Карапузова, И. А. Обиднов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **СОЗДАНИЕ МЕТОДА ОТЧИСТКИ ДИНАМИЧЕСКОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДОЖИГАТЕЛЯ**

Рассмотрена модернизация схемы динамического каталитического дожигателя для отчистки легированных лопаток рабочих колес динамического каталитического дожигателя от продуктов недожога, содержащихся в топливной смеси на выходе из горелочных устройств. Описан процесс отчистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя и экстракции соединений оксидов углерода, азота и сернистых соединений с помощью выдвижного лотка, установленного в диффузоре дожигателя.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** динамический каталитический дожигатель, легированные лопатки, очистка динамического дожигателя, рабочие колеса дожигателя.

### **Введение**

Энергетика является значительным отраслевым сектором многих стран мира. Однако производство электроэнергии негативно сказывается на окружающей среде, приводя к ее загрязнению, особенно воздушного пространства. Тепловые станции выделяют вредные вещества, которые представляют опасность для здоровья людей и животных. Среди опасных компонентов выделяются следующие химические соединения: оксиды углерода, азота и серы — соответственно  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$ . Они обладают высокой токсичностью и способствуют формированию кислотных дождей, которые негативно воздействуют на природу.

По результатам исследований, наиболее токсичными веществами являются оксиды углерода. Кроме того, они играют важную роль в климатологических прогнозах, т. к. являются одними из основных парниковых газов. По этой причине правительства многих стран активно поддерживают разработку новых технологий и методов снижения уровня выбросов вредных веществ в атмосферу [3—6]. Одним из таких методов является установка динамического каталитического дожигателя, который обеспечивает более эффективный процесс сжигания топлива.

Существующая схема динамического каталитического дожигателя, установленного над горелочными устройствами котельных агрегатов для доокисления продуктов недожога, содержащихся в органических видах топлива [1, 2], не предполагает отчистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя. Вследствие неполной реакции окисления продуктов недожога, находящихся в газовой смеси, происходит загрязнение устройства, что приводит к снижению площади соприкосновения оксидов углерода, азота и сернистых соединений с каталитическим легированным слоем, нанесенным на лопатки рабочего колеса дожигателя, и ухудшению эксплуатационных характеристик каталитических лопаток дожигателя, уменьшению коэффициента полезного действия (КПД) установки в целом.

### **Цель исследования**

Целью данного исследования является разработка метода отчистки динамического катализатора теплоэнергетических установок для повышения их производительности и экономии топливных ресурсов при работе на различных видах топлив. Исследование включает:

- анализ работы динамического каталитического дожигателя;
- обзор по проведению оптимальных условий очистки;
- изучение воздействия процесса очистки на характеристики работы теплоэнергетических установок.

Данный обзор позволяет использовать новые методы и технологии для повышения эффективности использования топлив в теплоэнергетическом оборудовании.

### **Материал и методы исследования**

Установка дожигателя применяется для удаления остатков органических материалов после сгорания топлива. Это оборудование существенно снижает выброс вредных веществ в атмосферу, таких как  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$ . Однако для его эффективной работы необходимо соблюдение определенных условий. Прежде всего, обеспечение стабильного режима работы теплоэнергетической установки, чтобы ее функционирование не прерывалось и не сопровождалось сбоями [7—9]. Тщательный контроль качества поступающего топлива является еще одним из основных условий предотвращения возможных проблем с работой теплоэнергетического оборудования. В этом смысле динамический каталитический дожигатель имеет стратегическое значение в сохранении окружающей среды и защите здоровья людей. Его использование способствует снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, благоприятно влияет на состояние экосистемы и общее благосостояние человечества.

### **Основная часть**

Для нейтрализации вредных веществ и с целью повышения КПД и более полного процесса сжигания топлива горелочными устройствами предложена установка динамического каталитического дожигателя. Схема дожигателя представлена на рис. 1.

Принцип работы динамического каталитического дожигателя заключается в следующем. Смесь газа и воздуха, выходящая из сопла горелки, направляется во входной патрубок дожигателя — конфузор 1. В нем, благодаря аэродинамическим силам, смесь ускоряется и проходит через рабочие колеса дожигателя 3—5. Поток смеси приводит колеса во вращение относительно вала дожигателя 7, что обеспечивает эффективную работу устройства. Корпус динамического каталитического дожигателя 2 представляет собой компоновку из трех последовательно установленных ступеней рабочих колес. Эти колеса расположены вертикально на валу дожигателя. Каждое рабочее колесо проходит процедуру ионного легирования, во время которой на его поверхность наносятся покрытия из силицидмолибдена ( $\text{Mo}_3\text{Si}$ ), дисилицидмолибдена ( $\text{MoSi}_2$ ) и силицидванадия ( $\text{V}_3\text{Si}$ ) [10—15]. Продукты неполного сгорания, находящиеся в газозооной смеси, при контакте с покрытием лопаток рабочих колес устройства вступают во взаимодействие с добавленными элементами, и в результате каталитического действия реакции окисления протекают до конца. Образовавшиеся газы направляются в камеру сгорания котельного агрегата через устройство для увеличения давления — диффузор 6.

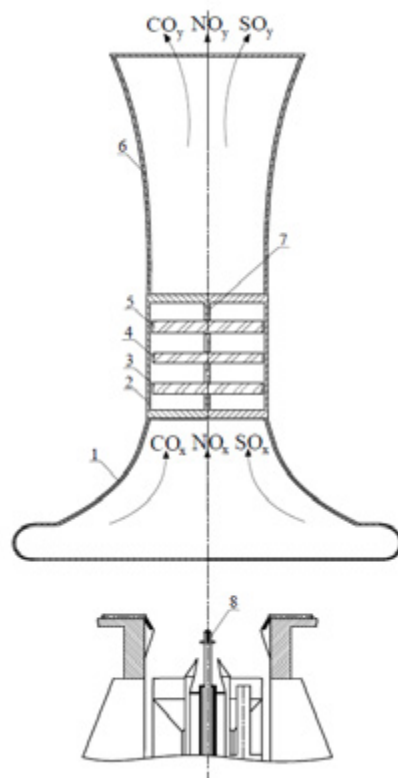


Рис. 1. Схема динамического каталитического дожигателя: 1 — конфузор; 2 — корпус дожигателя; 3, 4, 5 — рабочие колеса; 6 — диффузор; 7 — вал рабочих колес; 8 — горелочное устройство котлоагрегата

Схема продувки рабочих колес динамического каталитического дожигателя приведена на рис. 2.

Воздушная линия продувки подводится в корпус дожигателя 5 и через форсунки 6 направляется на легированные лопатки рабочих колес 9, 10, 11, расположенных на валу дожигателя 4, приводя их во вращения, обратное при прохождении газовоздушной смеси. Схема врезки воздушных форсунок в корпус дожигателя приведена на рис. 3.

При продувке рабочих колес дожигателя для направления потока в нижнюю часть дожигателя, корпус закрывается диафрагмой 7. Расположение диафрагмы на валу дожигателя приведено на рис. 4.

Воздушные форсунки располагаются под углом, обеспечивающим создание вихревого потока, приводящего во вращения рабочие колеса дожигателя. Реверсивный воздушный поток, уносящий продукты недожога, не вступившие в реакцию окисления, проходя через конфузор дожигателя 3, выходит через продувочное кольцо 2. Продукты недожога, не вступившие в реакцию окисления, состоящие из крупнодисперсных частиц большей массы, попадают на абсорбционную тарелку 12, где оседают в улавливающих ячейках 13. Схема установки и экстракции абсорбционной тарелки приведена на рис. 5.

Для достижения равномерного выхода диоксидов углерода, азота и сернистых соединений применяется несоосное расположение легированных лопаток рабочих колес дожигателя. Благодаря этому расположению газовоздушная смесь проходит реакцию доокисления на поверхности нижних лопаток рабочего колеса и переходит на рабочие лопатки следующего рабочего колеса. В результате данного процесса рабочие лопатки следующего рабочего колеса начинают вращаться относительно посадочного вала. В связи с прохождением через легированные лопатки дожигателя продуктов недожога и неполнотой процесса их дегидрирования при длительной эксплуатации дожигателя на ребрах легированных лопаток откладываются продукты недожога газовоздушной смеси и их соединения.

Для решения данной проблемы предлагается продувочная система, подведенная с линии подачи воздуха на горелку в корпус дожигателя. Схема продувки рабочих



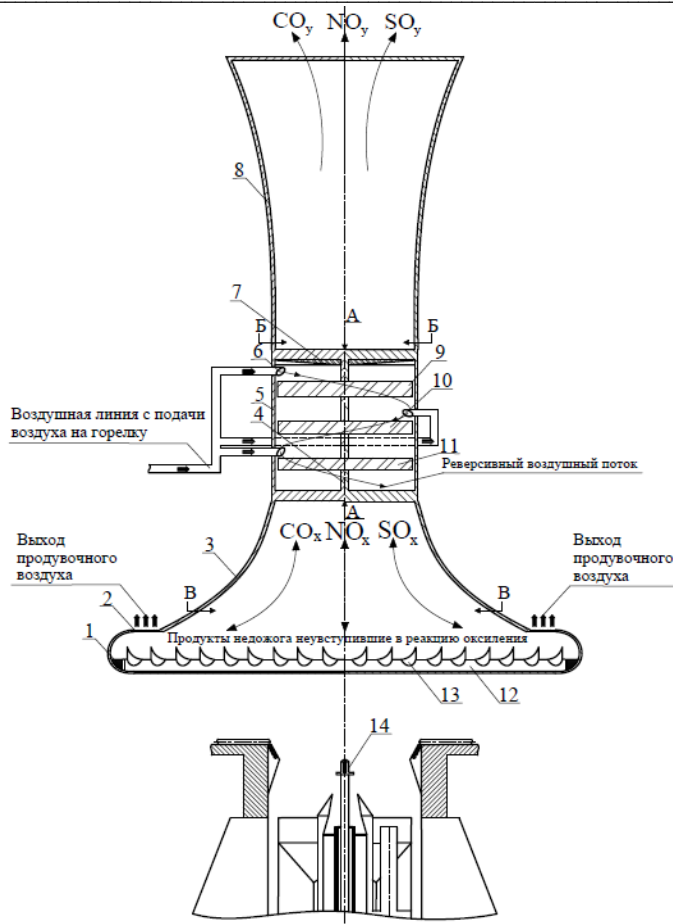


Рис. 2. Схема очистки динамического каталитического дожигателя:  
 1 — направляющие; 2 — продувочное кольцо; 3 — конфузор; 4 — вал дожигателя;  
 5 — корпус дожигателя; 6 — воздушная форсунка; 7 — диафрагма; 8 — диффузор;  
 9, 10, 11 — рабочие колеса; 12 — абсорбционная тарелка; 13 — улавливающие ячейки;  
 14 — горелочное устройство котлоагрегата

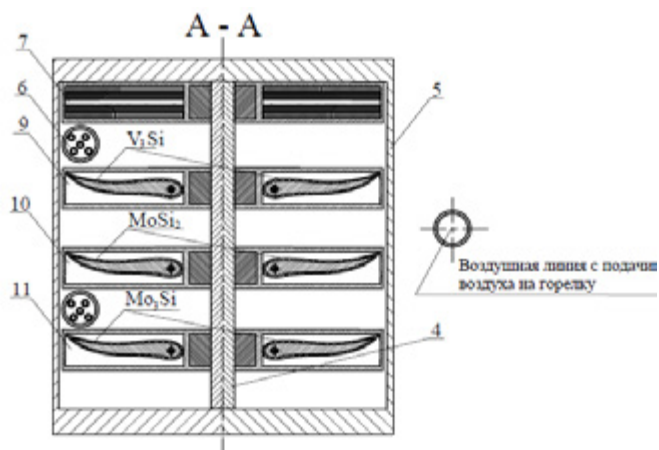


Рис. 3. Схема врезки воздушных форсунок в корпус дожигателя

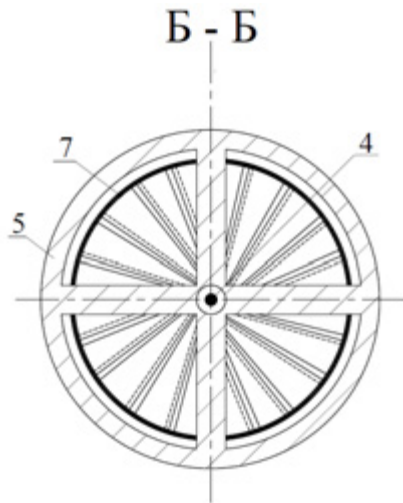


Рис. 4. Расположение диафрагмы на валу дожигающего

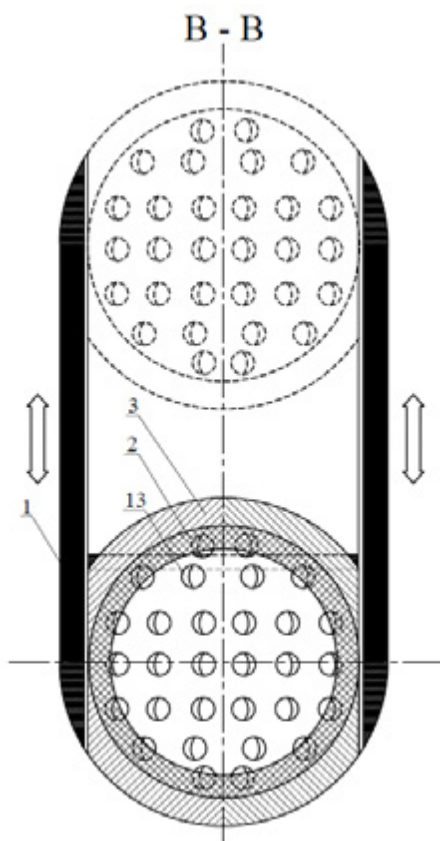


Рис. 5. Схема установки и экстракции абсорбционной тарелки

В рабочем состоянии абсорбционная тарелка находится вне дожигающего, не препятствуя прохождению газозвушной смеси. В режиме продувки легированных лопаток горелочное устройство отключается, открывается шиббер 13, для подачи абсорбционной тарелки 12 по направляющим 1 в конфузтор дожигающего 3 для улавливания крупнодисперсных частиц, уносимых продувочным потоком воздуха. Мелкодисперсные частицы удерживаются в межрешетчатом пространстве продувочного кольца 2. Осевшие частицы нагара удаляются путем отключения подачи воздушного потока на рабочие лопатки дожигающего для экстракции абсорбционной тарелки с последующим удалением и утилизацией продуктов недожога. Далее происходит открытие диафрагмы, расположенной на валу дожигающего, и включение в работу горелочного устройства.

Из-за особенностей подключения динамического каталитического дожигающего к системе продувки рабочих колес, которая обеспечивается с воздушной линии подачи на горелочное устройство, существует возможность регулирования расхода воздуха. Это позволяет контролировать вращение рабочих колес в зависимости от уровня загрязнения легированных лопаток, а также скорость вращения, чтобы избежать возможной избыточной динамической нагрузки на рабочий вал и колеса дожигающего.

Процесс отчистки динамического каталитического дожигающего можно осуществлять дистанционно с панели щита управления котельным агрегатом, что упрощает обслуживание и контроль работы горелочного устройства в паре с дожи-

гательем, а также включение системы очистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя.

### **Выводы**

К преимуществам установки продувочной системы динамического каталитического дожигателя можно отнести:

- эффективность конструкции динамического каталитического дожигателя в сравнении с установкой каталитического дожигателя;
- возможность широкого выбора химических соединений для ионного легирования лопаток дожигателя в зависимости от требуемой полноты сжигания топливной смеси, а также ПДК уходящих топочных газов котла;
- отсутствие четкой границы раздела между слоем каталитического покрытия и лопатками рабочих колес дожигателя, которые подвергались ионному легированию, что повышает механическую прочность покрытия;
- динамический каталитический дожигатель позволяет проводить более равномерный процесс доокисления продуктов недожога топлива вследствие равномерного вращения рабочих колес, а также наиболее эффективного улавливания продуктов недожога, содержащихся в газовой смеси на выходе их горелочного устройства, в сравнении с установкой каталитического дожигателя;
- повышение эффективности очистки легированных лопаток рабочих колес дожигателя без значительного изменения его конструкции;
- подача воздуха для продувки лопаток дожигателя осуществляется с линии подачи воздуха на горелку, делая процесс экономичным с точки зрения энергозатрат;
- установленная диафрагма в продувочном режиме обеспечивает направленное движение воздушного потока к легированным лопаткам дожигателя, а также предотвращает попадание загрязненного воздушного потока в топочную часть котлоагрегата;
- простая конструкция улавливания и удаления продуктов недожога при помощи абсорбционной тарелки позволяет избежать загрязнения сопла горелки;
- возможность автоматизации управления системой очистки динамического дожигателя с панели щита управления котельного агрегата.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Barbera E., Mio A., Pavan A. M., Bertucco A. Fuelling power plants by natural gas: An analysis of energy efficiency, economical aspects and environmental footprint based on detailed process simulation of the whole carbon capture and storage system // *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 252. Iss. 4. Pp. 115072.
2. . Fuel Pretreatment Systems in Modern CI Engines / J. Eliaz, T. Osipowicz, K. F. Abramek, Z. Matuszak, Ł. Mozga // *Catalysts*. 2020. Vol. 10. P. 696.
3. Кошкарёв С. А., Кошкарёв К. С. Повышение экологической безопасности предприятий стройиндустрии при снижении выбросов пыли и отходов от систем обеспыливания с пылеуловителями фильтрующе-псевдоожиженного слоя дисперсного материала // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 255—267.
4. Путятин Д. П., Оводков М. В., Азаров В. Н. Актуальные задачи эксперимента по кватертированию выбросов загрязняющих веществ и подходы к их решению // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 209—221.

5. Создание методов каталитических покрытий для нейтрализаторов уходящих газов / А. Д. Легкий, В. Н. Злобин, А. С. Кудашев, Н. Ю. Карапузова, Н. В. Мензелинцева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 12. С. 70—74.
6. Легкий А. Д., Злобин В. Н., Кудашев А. С., Карапузова Н. Ю. Каталитический дожигатель: патент на полезную модель. RU 211537U1. URL: <https://patents.google.com/patent/RU211537U1/ru>.
7. Environmental Life-Cycle Assessment of Eco-Friendly Alternative Ship Fuels (MGO, LNG, and Hydrogen) for 170 GT Nearshore Ferry / G. N. Lee, J. M. Kim, K. H. Jung, H. Park, H. S. Jang, C. S. Lee, J. W. Lee. // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10. Iss. 6. P. 755.
8. Decarbonising inland ship power system: Alternative solution and assessment method / A. Fan, J. Wang, Y. He, M. Perčić, V. Nikola, Y. Liu // Energy. 2021. Vol. 226(C). DOI: 10.1016/j.energy.2021.120266.
9. Fault prognosis control of solid oxide fuel cell system based on health evaluation / T. Cheng, H. Qin, Z. Cheng, D. Yan, L. Jia, J. Jiang, J. Li // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. Vol. 46. No. 77. Pp. 38425—38450.
10. Molybdenum Modified Sol-Gel Synthesized TiO<sub>2</sub> for the Photocatalytic Degradation of Carbamazepine under UV Irradiation / C. B. Anucha, E. Bacaksiz, V. N. Stathopoulos, P. K. Pandis, C. Argiris, C.-D. Andreouli, Z. Tatoudi, I. Altin. // Processes. 2022. Vol. 10. P. 1113.
11. Hemmingsson F., Schaefer A., Skoglundh M., Carlsson P.-A. CO<sub>2</sub> Methanation over Rh/CeO<sub>2</sub>. Studied with Infrared Modulation Excitation Spectroscopy and Phase Sensitive Detection // Catalysts. 2020. Vol. 10. P. 601. DOI: 10.3390/catal10060601.
12. Кулакова И. И., Лисичкин Г. В. Каталитическая химия. Часть 1. Основы катализа: конспект лекций по спецкурсу для студентов IV курса химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: Изд-во МГУ, 2014. 112 с.
13. Burlachenko O. V., Zlobin V. N., Burlachenko A. O. Technical Support for the Health of the Reducers of Construction Machines on the Basis of Application Device for the Application of Hard Coatings // Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. Pp. 724—728. DOI: 10.4028/www.scientific.net?MSF.945.
14. Злобин В. Н., Васильев И. П. Нанесение каталитических покрытий способом ионной имплантации в двигателестроении. Волгоград, Луганск, 2018. 210 с.
15. Злобин В. Н. Техника и технология ионного легирования: учебное пособие. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2020. 69 с.

© Легкий А. Д., Стефаненко И. В., Карапузова Н. Ю., Обиднов И. А., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Легкий А. Д., Стефаненко И. В., Карапузова Н. Ю., Обиднов И. А. Создание метода отчистки динамического каталитического дожигателя // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 118—125. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_118.

Об авторах:

**Легкий Александр Дмитриевич** — ассистент каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [alegkii@mail.ru](mailto:alegkii@mail.ru)

**Стефаненко Игорь Владимирович** — д-р техн. наук, проф., зав. каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Карапузова Наталья Юрьевна** — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Обиднов Илья Андреевич** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

---

**Aleksandr D. Legkii, Igor' V. Stefanenko, Natalya Yu. Karapuzova, Ilya A. Obidnov**

*Volgograd State Technical University*

## **DEVELOPMENT OF A CLEANING METHOD FOR A DYNAMIC CATALYTIC CONVERTER**

The modernization of the scheme of a dynamic catalytic afterburner for cleaning the alloyed blades of the impellers of a dynamic catalytic afterburner from underburning products contained in the fuel mixture at the outlet of the burner devices is considered. The process of cleaning the alloyed blades of the afterburner impellers and extraction of compounds of carbon oxides, nitrogen and sulfur compounds using a retractable tray installed in the afterburner diffuser is described.

**Key words:** dynamic catalytic afterburner, alloy blades, cleaning of dynamic afterburner, afterburner impellers.

*For citation:*

Legkii A. D., Stefanenko I. V., Karapuzova N. Yu., Obidnov I. A. [Development of a cleaning method for a dynamic catalytic converter]. *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], 2024, iss. 2, pp. 118—125. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_118.

*About authors:*

**Aleksandr D. Legkii** — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alegkii@mail.ru

**Igor' V. Stefanenko** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Natalya Yu. Karapuzova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University. 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Ilya A. Obidnov** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 628.33:66.081

**Н. Г. Вурдова**

**АО «ГМС Нефтемаш»**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ КРЕМНЕЗЕМОВ ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Проведено исследование физико-химических и механических свойства природных сорбентов — дисперсных кремнеземов для применения в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Получены данные, подтверждающие возможность использования сырья с различных месторождений, что позволяет расширить минерально-сырьевую базу для получения адсорбентов на основе дисперсных кремнеземов.

**Ключевые слова:** сорбционная очистка сточных вод, природные адсорбенты.

### **Введение**

Растущее использование природных сорбентов в процессах очистки воды подчеркивает важность разработки теоретически и практически обоснованных методов рационального использования различных видов природных сорбентов для удаления из воды коллоидных, молекулярных и ионно-растворенных веществ [1, 2].

Сорбционные свойства природных минералов обусловлены кристаллической структурой, дефектами и вторичной аморфной пористой структурой [3, 4]. Способностью к адсорбции обладают многие природные минералы, пригодные для извлечения фенолов, гербицидов, пестицидов, ароматических нитросоединений, ПАВ, красителей, нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов и других загрязняющих веществ из водных растворов [5—7]. По особенностям строения и физико-химическим свойствам разделяют следующие группы природных неорганических адсорбентов: дисперсные кремнеземы (ДК) — диатомит, трепел, опока; слоистые и слоисто-ленточные силикаты — монтмориллонит, вермикулит, каолинит, глауконит, палыгорскит и каркасные силикаты — цеолиты.

По У. Г. Дистанову [4], диатомиты — мягкие легкие тонкопористые породы, сложенные в основном опаловыми раковинками диатомовых водорослей, с объемной массой  $0,5...0,7 \cdot 10^3$  (в порошке  $0,3 \cdot 10^3$ )  $\text{кг/м}^3$ , пористостью 75...90 %, прочность обычно до 2,5...3,0 МПа. Опоки — легкие плотные тонкопористые породы, состоящие из частиц (менее 5 мкм) кремнезема, с объемной массой  $1,1...1,6 \cdot 10^3$   $\text{кг/м}^3$ , пористостью до 55 %, прочностью обычно до 5,0...20,0 МПа, иногда до 150 МПа. Трепелы — легкие плотные тонкопористые породы, состоят из глобулярных частиц кремнезема, с объемной массой  $0,7...1,2 \cdot 10^3$   $\text{кг/м}^3$ , пористостью до 70 %, прочностью обычно до 5,0 МПа. В диатомитах кремнезем опаловый, в опоках и трепелах преобладает опал-кристобалит и  $\alpha$ -кристобалит. Глинистая составляющая в диатомитах каолинитовая, в опоках и трепелах — монтмориллонитовая. В состав пелитовой и алевритовой части опок и трепелов входят цеолиты (иногда до 20...30 %) — клиноптилолит и глауконит.

Сорбционную активность ДК определяет число пор. Диатомиты имеют большое количество макропор, суммарный объем пор  $V_{\Sigma} = 0,7...2,4 \text{ см}^3/\text{г}$  и  $r_{\text{эф}} = 300...1600 \text{ нм}$ , незначительное количество переходных пор с  $r_{\text{пер}} = 2...20 \text{ нм}$  (до 10...13 % от общего количества). Поэтому диатомиты относят, как правило, к макропористым образованиям [8, 9].

У трепелов в структуре преобладают макропоры  $r_{\text{эф}} = 1000...1600 \text{ нм}$ , однако их меньше, чем в диатомите (до 80 %). Остальной объем сорбционного пространства занимают переходные поры с  $r_{\text{пер}} = 2...7$  и  $15...50 \text{ нм}$ .

Опоки структурно сходны с трепелами, но различают их по большему объемному весу (более 1,0 для опок). Суммарный объем пор у опок не превышает  $V_{\Sigma} = 0,45 \text{ см}^3/\text{г}$ . При этом на долю переходных пор  $r_{\text{пер}} = 3...5$  и  $5...50 \text{ нм}$  приходится более половины от суммарного их количества, что обуславливает большую их удельную поверхность (до  $150 \text{ м}^2/\text{г}$ ).

Сравнение структурно-сорбционных свойств ряда ДК приведено в табл. 1.

Таблица 1

Структурно-сорбционные свойства дисперсных кремнеземов [4]

Адсорбент	Удельная поверхность, $s$ , $\text{м}^2/\text{г}$	Суммарный объем пор $V_{\Sigma}$ , $\text{см}^3/\text{г}$	Отношение объема макропор к суммарному, %
Опоки	~ 200	< 0,45	< 50
Трепелы	30...70	0,8...0,6	70...80
Диатомиты	10...20	2,4...1,0	90...95

### Полученные результаты и их обсуждение

Адсорбционные свойства ДК напрямую зависят от величин  $s$  и  $V_{\Sigma}$ . По этим характеристикам опоки имеют преимущества, которые обусловили их широкое применение в качестве адсорбентов для водоподготовки и очистки сточных вод [10—12]. Лучшие показатели получены на опоках Зикеевского, Каменоярского, Комсомольского, Красногвардейского, Шебунинского месторождений [4, 9, 13]. Хорошо зарекомендовали себя в технологиях водоподготовки и водоочистки адсорбенты, изготавливаемые из опок Артемовского и Сухоложского месторождений, известные под марками «АС» и «ОДМ-Ф», и диатомитов Инзенского месторождения — «Диамикс».

В зависимости от минерального состава и количественного соотношения минералов меняется химический состав пород. При этом в пределах одного месторождения он может быть достаточно однородным [7, 9, 14]. Поэтому важно установить имеющиеся общие закономерности, влияющие на технологические показатели сорбционной очистки сточных вод как многокомпонентных систем.

Нами исследован химический состав опоки Каменоярского месторождения (Астраханская область). Методом сканирующей электронной микроскопии с ренгеноспектральным микроанализом по энергии (спектры с элементным составом) на растровом электронном микроскопе Vega 3 Tescan с ЭДС-приставкой X-Act Oxford Instruments проанализирован химический состав опок. В таблице 2 приведен обработанный статистически результат для фракции  $0,7...1,4 \text{ мм}$ .

Усредненный химический состав исследуемых опок, (масс %)

Оксид	Среднее арифметическое	Среднее отклонение	Стандартное отклонение	Значения min	Значения max	Коэффициент вариации, $C_v$ , %
SiO <sub>2</sub>	82,75	1,18	1,05	78,88	85,65	1,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,04	0,31	0,20	5,46	6,63	5,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,88	0,66	0,57	2,99	5,28	14,40
TiO <sub>2</sub>	0,36	0,07	0,06	0,27	0,62	19,02
CaO	1,47	0,46	0,39	0,77	2,39	31,47
MgO	1,11	0,07	0,05	0,95	1,26	6,60
Na <sub>2</sub> O	0,57	0,06	0,06	0,44	0,63	11,05
K <sub>2</sub> O	1,68	0,15	0,15	1,33	1,87	8,65
П.п.п.	2,31	0,82	—	—	—	—

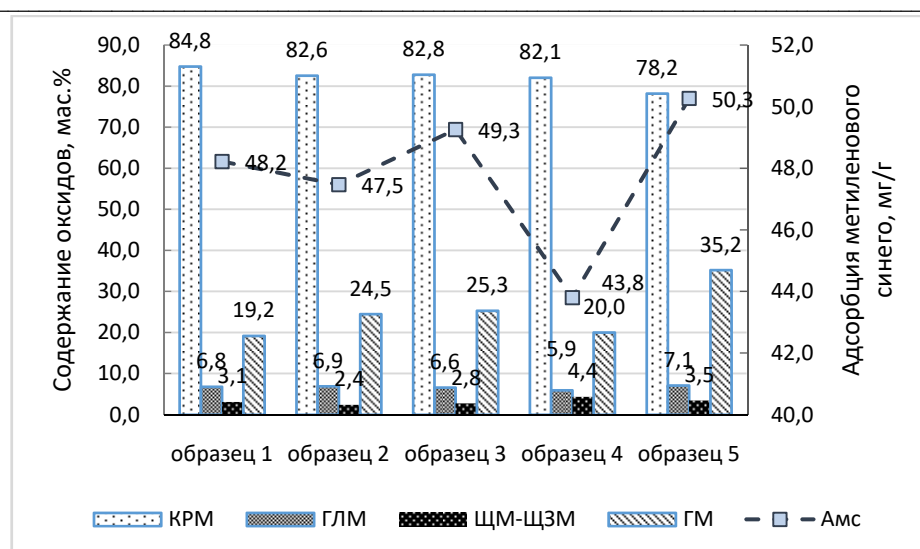
Проведены также сравнительные испытания на образцах фракции 0,1...0,15 мм, показавшие некоторое изменение состава породы при проведении операции по ее измельчению ( $0,05 < s < 3,63$ ). Значение коэффициента вариации для большинства оксидов (см. табл. 2) менее 20 % свидетельствует о достаточно равномерном распределении указанных компонентов по месторождению, за исключением оксидов кальция, коэффициент вариации которых лежит в пределах  $20 < C_v < 40$  %, что говорит об относительно равномерном их распределении [15].

В ряде работ [7, 15] с использованием в качестве адсорбентов опок Каменнаярского месторождения отмечено присутствие в породе значительных количеств Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (~ 20 %), что скорее характерно для глинистых материалов, в частности, монтмориллонита. Для определения минералогического состава опок существенное значение имеет молекулярное отношение SiO<sub>2</sub> : R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (полторные оксиды), которое для саратовских и астраханских опок больше 4 и изменяется в пределах 5,8...10. Подобное молекулярное отношение свойственно глинам и опокам монтмориллонитового состава. Однако нам не удалось подтвердить столь большое содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в исследуемых образцах. Полученные данные по химическому составу образцов опок каменнаярских, а также с других месторождений (табл. 3) показывают меньшие количества глинозема в породах, что однозначно сказывается на их сорбционной способности.

К исследованию взяты образцы (не менее 10 с каждого) следующих месторождений: № 1 — опока каменнаярская (Астраханская область); № 2 — диатомит инзенский (Ульяновская область); № 3 — опока Саратовского месторождения (Лысая гора); № 4 — опока Артемовского месторождения (Свердловская область), № 5 — опока Сухоложского месторождения (Свердловская область).

Для определения сорбционной способности исследуемых материалов применялась стандартная методика с использованием реактива метиленового синего (МС) [1, 16], которая часто применяется для установления сорбционной способности ДК. Изучено влияние химического состава ДК (диатомита и опок) с определением основных компонентов (оксидов), наличия глинистых минералов на величину адсорбции МС,  $a_{МС}$  (рис.).





Влияние химического состава исследуемых ДК на адсорбцию МС:  
 КРМ — кремнезем; ГЛМ — глинозем; ШМ+ШЗМ — оксиды щелочных и щелочноземельных металлов; ГМ — глинистые материалы

Из рисунка можно увидеть достаточно высокую однородность химического состава исследуемых образцов в пределах как одного месторождения (не менее 10 образцов с каждого месторождения), так и в целом по классу сырья (ДК). Установленный коэффициент вариации  $C_V$  для оксидов КРМ и ГЛМ составляет менее 7 %, что свидетельствует о достаточно равномерном распределении указанных компонентов по месторождению. Для оксидов ШМ, ШЗМ и глинистым материалам коэффициент вариации лежит в пределах  $20 < C_V < 40$  %, что говорит об относительно равномерном их распределении.

Однако вид кривой  $a_{МС}$  показывает имеющуюся зависимость величины адсорбции от исследуемых показателей. Рассчитаны коэффициенты корреляции  $r$  (Пирсона), которые показали следующее. С увеличением содержания  $SiO_2$  (кремнезема) величина адсорбции  $a_{МС}$  уменьшается:  $r = -0,779$ ,  $p < 0,001$ ,  $N = 18$ . Тогда как наличие других минералов показало положительную корреляцию. С увеличением содержания  $Al_2O_3$  (глинозема) и глинистых минералов адсорбция МС  $a_{МС}$  увеличивается:  $r = 0,677$ ,  $0,01 < p < 0,001$  и  $r = 0,954$ ,  $p < 0,001$  при  $N = 18$ , соответственно. Это подтверждает полученные зависимости на диатомидах [12, 17, 18]. Установлена положительная корреляция увеличения адсорбции МС  $a_{МС}$  с повышением содержания щелочных и щелочноземельных металлов в образце:  $r = 0,831$ ,  $p < 0,001$ ,  $N = 18$ .

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что содержания глинозема, глинистых минералов и оксидов щелочных и щелочноземельных металлов влияют на адсорбционную способность ДК по отношению к катионам МС, с их увеличением адсорбция МС увеличивается.

Таким образом, полученные закономерности изменения величины адсорбции МС от химического состава исследованных образцов пород являются общими для опал-кристобалитовых пород разных месторождений. Это позволяет расширить минерально-сырьевую базу для получения адсорбентов на основе ДК [19, 9].

Для установления технологических показателей работы фильтров-адсорберов необходимы данные о физико-механических свойствах адсорбентов<sup>1</sup> [20]. В таблице 3 приведены отдельные показатели, которые определялись по методике [20] для тех же образцов.

Таблица 3

*Физико-механические свойства ДК*

№ образца	Насыпная плотность, кг/дм <sup>3</sup>	Прочность механическая, кгс/см <sup>2</sup>	Пористость, %	Водостойкость, %	Суммарный объем пор по воде, см <sup>3</sup> /г [15]	Истираемость, %
1	0,9	120	51	98	1,42	0,09
2	0,6	35	65	80	1,31	0,3
3	0,7	80	49	90	0,51	0,4
4	0,8	140	46	98	0,98	0,08
5	0,9	100	39	97	0,56	0,3

Проведенные исследования показали, что адсорбенты из дисперсных кремнеземов имеют общий химико-минералогический состав (рис. 1) и физико-механические свойства (табл. 3), удовлетворяющие требованиям к грузкам напорных фильтров [21], что позволяет использовать их в технологиях сорбционной очистки вод, особенно в многослойных фильтрах. Применение комбинированных многослойных фильтров обеспечивает наилучшие технико-технологические показатели. Полученные экспериментальные данные применены при расчете технологических показателей напорных двухслойных (мультимедийных) фильтров, основные из которых приведены в табл. 4.

Таблица 4

*Отдельные технико-технологические показатели двухслойного фильтра*

Показатели качества фильтрующих материалов	Кварцевый песок	Сорбент на основе ДК
Оптимальный диаметр основной массы зерен, $D_{оп}$ , мм	0,5...1,6	0,8...2,0
Эффективный диаметр зерен, $D_{эф} = D_{10}$ , мм	0,35	0,60
Средний диаметр зерен, $D_{ср} = D_{50}$ , мм	0,7...0,8	1,2...1,3
Эквивалентный диаметр зерен, $D_{экв}$ , мм	0,7...1,2	1,1
Коэффициент однородности зерен, $D_{80}/D_{10}$	2,2	1,7
Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	2,6...2,7	1,4...1,7
Плотность материала насыпная, т/м <sup>3</sup>	1,6...1,7	0,75...0,9
Пористость, %	35,0	50,0
Истираемость, %	0,5	0,1
Измельчаемость, %	4,0	0,5
Годовые потери материала, %, не более	10,0	2,0
Высота фильтрующего слоя, м	0,7...1,0	0,5...0,8
Расчетная скорость фильтрования, м/ч:		
рабочая	8,0	8,0
форсированная	10,0	10,0
Расчетная грязеемкость фильтрующего материала (при высоте фильтрующего слоя 500 мм), кг/м <sup>3</sup>	1,25	3,50

<sup>1</sup> ГОСТ Р 51641—2000. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия: официальное издание. М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. 14 с.

## Заклучение

Изученные физико-химические и механические свойства дисперсных кремнеземов с нескольких месторождений позволяют получать сырье относительно однородного состава, из чего следует возможность взаимного использования природных сорбентов. Экономическая эффективность применения сорбентов на основе дисперсных кремнеземов обуславливается увеличением степени очистки, грязеемкостью загрузки (~ 3 раза). При переходе с кварцево-антрацитовой на загрузку кварц-сорбент-ДК уменьшаются капитальные и эксплуатационные затраты (до 30 %), в т. ч. за счет снижения перепада давления и увеличения фильтроцикла (в 2...5 раз).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Когановский А. М., Левченко Т. М., Рода И. Г. Адсорбционная технология очистки сточных вод. Киев : Техніка, 1981. 175 с.
2. Падалкин Н. В. Модифицированные сорбенты на основе опоки для очистки вод // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. № 1(3). С. 262—269.
3. Чукин Г. Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема. М. : Принта, 2008. 172 с.
4. Дистанов У. Г. Кремнистые породы СССР. Казань : Татарское кн. изд-во, 1976. 412 с.
5. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. / R. Shrestha, S. Ban, S. Devkota, S. Sharma, R. Joshi, A. P. Tiwari, Y. K. Hak, V. K. Joshi // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021. Vol. 9. Pp. 105688.
6. Stepanov S. V., Strelkov A. K., Panfilova O. N. Removal of heavy metals from wastewater with natural and modified sorbents // Magazine of Civil Engineering. 2022. Vol. 111. Iss. 3. Art. No. 11110. DOI: 10.34910/MCE.111.10.
7. Убаськина Ю. А., Коростелева Ю. А. Исследование возможности практического применения диатомита для очистки сточных вод // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 7. С. 92—96. DOI: 10.12737/article\_5940f0199950b7.10091901.
8. Tımsek F. Investigation of kinetics and isotherm models for the acid orange 95 adsorption from aqueous solution onto natural minerals // Journal of Chemical & Engineering Data. 2013. Vol. 58. Iss. 3. Pp. 551—559.
9. Мдивнишвили О. М. Кристаллохимические основы регулирования свойств природных сорбентов. Тбилиси : Мецниереба, 1983. 268 с.
10. Ngulube T., Gumbo J. R., Masindi V. An update on synthetic dyes adsorption onto clay-based minerals: a state-of-art review // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 191. Pp. 35—50.
11. Smol M., Dariusz W. Use of Natural Sorbents in the Processes of Removing Biogenic Compounds from the Aquatic Environment // Sustainability/ 2022. Vol. 14. Iss. 11. Pp. 6432. DOI: org/10.3390/su14116432.
12. Gustafsson J. P., Renman A., Renman G., Poll K. Phosphate removal by mineral-based sorbents used in filters for small-scale wastewater treatment // Water Research. 2008. Vol. 42. Pp. 189—197.
13. Алыков Н. М., Шачнева Е. Ю. Использование сорбента СВ-1-А для очистки воды от флокулянтов // Естественные науки. 2009. № 4(29). С. 158—167.
14. Bus A., Karczmarczyk A. Properties of lime-siliceous rock opoka as reactive material to remove phosphorous from water and wastewater // Infrastrukt. Ekol. Teren. Wiew. 2014. Vol. 1. Pp. 227—238.
15. Shachneva E., Archibasova D. Adsorption of cadmium ions from aqueous solutions on modified sorbents. // Chemical Technology. 2018. Vol. 12. Pp. 182—187.
16. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. Л. : Химия, 1982. 168 с.
17. The Accelerated Aging Impact on Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene Composites with Sedimentary Rock Opoka-Hybrid Natural Filler / P. Jakubowska, G. Borkowski, D. Brząkalski, B. Sztorch, A. Kloziński, R. E. Przekop // Materials. 2022. Vol. 15. Pp. 338—345.
18. Климов Е. С., Бузаева М. В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск : УлГТУ, 2011. 201 с.

19. *Линевич С. Н.* Исследования сорбционно-фильтровальных свойств материала ОДМ-2Ф и эффективности его применения в схемах контактного фильтрования на многослойной загрузке с целью повышения технологической надежности и производительности очистных сооружений донских водопроводов: отчет о НИР // ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск, 2000. 100 с.

20. *Аюкаев Р. И., Мельцер В. З.* Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды: справочное пособие. Л. : Стройиздат, 1985. 120 с.

21. Установка для очистки производственно-дождевых сточных вод: патент / Н. Г. Вурдова, Е. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, О. С. Брошко, Ю. А. Бирман. РФ: МПК C02F1/465(2006-01-01), C02F1/52(2006-01-01), C02F9/00(2006-01-01). № 2812328.

© Вурдова Н. Г., 2024

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Вурдова Н. Г.* Исследование применения дисперсных кремнеземов для сорбционной очистки сточных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 126—132. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_126.

*Об авторе:*

**Вурдова Надежда Георгиевна** — канд. техн. наук, доц., начальник Управления проектирования объектов водоподготовки и водоочистки, АО «ГМС Нефтемаш», филиал в г. Москве. Российская Федерация, 105203, г. Москва, ул. Первомайская, 126; nadya\_vurdova@mail.ru

**Nadezhda G. Vurdova**

**JSC “HMS Neftemash”**

## **RESEARCH ON THE USE OF DISPERSED SILICA FOR SORPTION WASTEWATER TREATMENT**

The study of the physico-chemical and mechanical properties of natural solvents — dispersed silica for use in water treatment and wastewater treatment processes. Data have been obtained confirming the possibility of using raw materials from various deposits, which makes it possible to expand the mineral resource base for the production of adsorbents based on dispersed silica.

**К e y w o r d s:** sorption wastewater treatment, natural adsorbents.

*For citation:*

Vurdova N. G. [Research on the use of dispersed silica for sorption wastewater treatment]. *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], 2024, iss. 2, pp. 126—132. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_126.

*About author:*

**Nadezhda G. Vurdova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, JSC “HMS Neftemash”. 126, Pervomayskaya st., 105203, Moscow, Russian Federation; nadya\_vurdova@mail.ru

УДК 628.312:54

**Н. Г. Вурдова<sup>а</sup>, Г. Б. Абуова<sup>б</sup>, Л. В. Боронина<sup>в</sup>, С. С. Захаров<sup>г</sup>, О. П. Радченко<sup>д</sup>,  
М. А. Фролов<sup>е</sup>**

<sup>а</sup> АО «ГМС Нефтемаш»

<sup>б</sup> Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>в</sup> Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет

<sup>г</sup> Волгоградский государственный технический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Рассмотрены проблемы качества очистки сточных вод и экологические вопросы на очистных сооружениях. Разработана технология использования модифицированных нефтеотходов и алюмоотходов для обработки сточных вод с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду. Получены сложные высокопористые сорбенты на основе нефтяных отходов, проявляющие высокую адсорбционную активность по отношению к тяжелым металлам. Предложенные сорбенты являются материалами многократного использования, экологически чистыми и обладают высокой селективностью к определенным ионам тяжелых металлов, особенно свинца. Их применение может способствовать разработке эффективных методов обработки сточных вод и решению экологических проблем, связанных с качеством воды.

**Ключевые слова:** модифицированные нефтеотходы, обработка сточных вод, высокопористые сорбенты, адсорбционная активность, экологические проблемы, очистка воды.

### **Введение**

С увеличением требований к качеству воды возрастает необходимость разработки и внедрения более эффективных технологий для очистки сточных вод и утилизации отходов, более эффективных, экономичных и экологически безопасных. Существующие системы очистки воды, часто характеризующиеся большими размерами и проблемами с испарением, требуют дорогостоящего и сложного обслуживания [1—3]. Особые трудности возникают при очистке сточных вод, содержащих тяжелые металлы и органические соединения, особенно когда речь идет о сточных водах предприятий, занимающихся переработкой и транспортировкой нефти и нефтепродуктов.

Данное исследование сосредоточено на изучении и разработке методов очистки сточных вод с применением наноматериалов, а также на анализе эффективности использования промышленных отходов в качестве вторичного сырья. С целью обеспечения устойчивого развития промышленных процессов и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду крайне важно проводить переработку и утилизацию промышленных отходов с максимальной эффективностью [2—5]. Авторами осуществлен детальный анализ потенциального использования промышленных отходов для создания наноматериалов, которые, в свою очередь, можно применить в процессе очистки сточных вод с целью более эффективного удаления загрязнителей. Кроме того, изучены возможности использования промышленных отходов в качестве ценного вторичного сырья для производства новых материалов и продуктов, что способствует снижению потребления природных ресурсов и сокращению объемов отходов, направляемых на свалки. Ожидается, что полученные

результаты помогут разработать более устойчивые и экологически безопасные технологии очистки сточных вод и эффективной утилизации промышленных отходов, что поспособствует улучшению экологической обстановки [6—7] и устойчивости промышленных процессов.

### **Основная часть**

В рамках данного исследования разработан и внедрен технологический процесс, основанный на использовании сорбентов, изготовленных из отходов производства алюминия и переработки нефти, с целью улучшения очистки сточных вод и повышения качества питьевой воды. Исследование и практическое применение алюмосиликатных материалов для очистки от загрязнений, вызванных аварийными выбросами нефти и нефтепродуктов в процессе добычи и транспортировки, в сочетании с утилизацией отходов производства алюминия и переработки нефти в качестве сорбентов в фильтрах и для флотационной очистки сточных вод, представляет собой значительно актуальную задачу с практической значимостью [8—10].

Цель работы заключается в проведении технологических лабораторных исследований, направленных на изучение сорбционных свойств алюмосиликатных материалов на основе отходов переработки нефти и алюминиевого производства для их последующего использования в промышленности [11—12].

Анализ химического состава и физико-химических свойств этих материалов, поиск оптимальных производственных режимов и методов их применения в различных отраслях, а также разработка новых классов веществ с сорбентными свойствами составляют основные задачи исследования.

Также рассматривается вопрос получения гидрофобизированных сорбентов с использованием модификации для придания им водоотталкивающих свойств. Известно, что структура твердых материалов играет ключевую роль в определении их химических и физических свойств. Один из методов создания материалов заключается в сборке кристаллических структур с заданными свойствами из отдельных атомов с использованием физических методов. Другой — создание специальных условий, при которых отдельные атомы самоорганизуются в новые структуры.

В данной статье рассмотрены композиционные гетероповерхностные сорбенты, полученные в лаборатории. Эти материалы представляют собой пористые частицы с модифицированным химическим составом во внешнем слое, отличающимся от состава внутреннего слоя, расположенного в порах сорбента. Композиционные гетероповерхностные сорбенты на наноуровне призваны решить проблему очистки водных сред, содержащих тонкие водно-органические эмульсии. Данный тип загрязнения нельзя удалить с помощью существующих методов, разработка эффективных сорбентов на композитной основе оказывается крайне актуальной. Полученные результаты и разработанные методы синтеза представляют собой важный шаг в области создания эффективных и экологически безопасных материалов для очистки водных систем [13—16]. Проведенное исследование показало перспективность использования композиционных гетероповерхностных сорбентов в процессах очистки и улучшения качества воды в промышленных и экологически чувствительных областях. Недостаток существующих сорбентов — необратимая адсорбция нерастворенных органических веществ на всей поверхности, что

блокирует возможность дальнейшего взаимодействия. Для преодоления этой проблемы разработаны различные сорбенты, однако производство их является затратным и трудоемким.

В рассматриваемой работе сорбирующее вещество обладает участками поверхности, имеющими как гидрофобные, так и гидрофильные свойства с различной селективной активностью. В нашей лаборатории разработана методика синтеза композиционного гетероповерхностного сорбента с применением химической «обшивки» молекулы-модификатора обратно-фазовыми частицами использованного сырья (нефтяными алюмоотходами). Примененный нанопринцип заключается в сохранении физических и химических свойств сорбирующего покрытия на модификаторе на внутренней поверхности пор, составляющей более 72...75 % общей площади поверхности сорбента, при создании плотного, на наноуровне, гидрофильного покрытия на внешней поверхности. Это препятствует необратимой сорбции водонерастворимых органических веществ и их проникновению в поры. В результате группа тонких эмульсий и ионы тяжелых металлов сорбируются вначале на внутренней поверхности сорбента из-за различных дипольных моментов молекул-загрязнителей. Методика синтеза предполагает получение сорбента с равномерным по толщине слоем иммобилизованных пор на внешней поверхности модификатора в глобулярной форме. Глобулы не проникают в поры исходного сорбента и создают слой, который препятствует проникновению последующих макромолекул. Полученные сорбенты при элементном анализе имеют плотность модификатора, выраженную условным числом мономолекулярных слоев  $n$ . Сравнение данных элементного анализа показывает почти линейную зависимость между модельным числом слоев и концентрацией модификатора. Сорбционные характеристики не зависят от pH среды. Результаты элементного анализа тесно коррелируют с данными измерения электрофоретической подвижности  $\lambda$  полученных сорбентов в зависимости от pH. Существуют методы получения угольно-минеральных смешанных сорбентов для очистки различных веществ, включая нанесение кокса на инертный носитель. Один из таких методов заключается в создании адсорбента для очистки воды путем нанесения углеродсодержащего компонента на окись алюминия, перлит или другой неорганический носитель, а затем термической обработки при высоких температурах. Наш сорбент получен путем термообработки в токе инертного газа предварительно обработанной хлорной медью палыгорскит-монтмориллонитовой глины. Отработанная палыгорскит-монтмориллонитовая глина представляет собой минеральную матрицу, покрытую слоем поликонденсированных полимеризованных органических соединений. Наш сорбент проявляет адсорбционную способность к хлорпроизводным органическим веществам, к катионактивным и неионогенным поверхностно-активным веществам (ПАВ). Для улучшения экономической эффективности в процессе очистки сточных вод, в противоположность использованию эффективных, но дорогостоящих материалов как сорбционных средств, предлагается исследовать возможность использования нефтяного отхода в качестве основы для сорбционного материала.

В современном мире проблема утилизации отходов представляет особую важность, особенно в области нефтепереработки. Одним из таких отходов,

образующихся в результате нефтепереработки, является отход процесса фильтрации масел. Наша задача состояла в анализе потенциальных способов использования таких отходов в качестве сорбирующих материалов для очистки сточных вод от нефтяных и масляных загрязнений.

Рассматриваемый отход представляет собой мелкодисперсный порошок серого цвета с указанным фракционным составом, включающим частицы менее 0,1 мм — 64 %; 0,1...0,25 мм — 21 %; 0,25...0,5 мм — 13 %; более 0,5 мм — 2 %. Удельная поверхность отхода превышает 1000 м<sup>2</sup>/кг. Для анализа фракционного состава использовались механические лабораторные сита.

Изучалась потенциальная возможность использования данного отхода при очистке промышленных сточных вод с учетом его химического состава и удельной поверхности. Минеральная часть отхода нефтепереработки представлена преимущественно оксидами (табл. 1) — оксиды кремния составляют до 72,8 % масс., а оксиды алюминия — 14,7 % масс. Это предполагает возможность использования данного отхода в качестве алюмосиликатной основы для создания сорбционных материалов, способных обеспечивать эффективную очистку сточных вод от нефтяных и масляных загрязнений.

Результаты анализа фракционного и химического составов отхода позволяют рассматривать его в качестве потенциального сорбирующего материала для очистки промышленных сточных вод, что открывает перспективы его эффективного использования и утилизации в промышленности. Планируется проведение дополнительных исследований с целью оптимизации процесса и повышения эффективности использования рассматриваемого отхода. Стоит отметить, что данный материал может быть перспективным ввиду его экономической целесообразности, эко-дружественности и потенциала сорбции.

Таблица 1

*Массовое содержание оксидов в минеральной части отхода, %*

Массовое содержание оксидов в минеральной части отхода, %								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Прочее
72,81	14,69	0,91	1,32	0,14	0,96	2,83	3,03	3,31

Исследование и разработка методов отделения органической части от нефтеотходов является актуальной задачей в области экологии и технологии. Одним из эффективных методов отделения органической части является экстракция бензолом с последующей сушкой бензольного раствора.

Нефтеотходы — это продукты переработки нефти и нефтепродуктов, которые могут содержать органические соединения, в т. ч. тяжелые углеводороды, ароматические соединения и другие элементы. Доля органической части в нефтеотходах может составлять от 10 до 15 % общей массы.

Для более детального изучения состава органической части нефтеотходов проведен их анализ. В таблице 2 представлены данные о содержании различных соединений, включая углеводороды, ароматические соединения и другие.



Т а б л и ц а 2

*Групповой состав органической части отхода нефтепереработки, %*

Группа углеводородов	Содержание органической части отхода, % масс
Парафиновые	4,6
Нафтеновые	8,5
Непредельные	3,0
Ароматические	15,7
Смолы	40,3
Асфальтены	9,2
Кислородсодержащие соединения	18,7

Изучение состава органической части нефтеотходов позволяет выявить потенциальные способы их переработки и возможности использования в промышленности. Упомянутый метод экстракции бензолом дает возможность для проведения дальнейших исследований в этой области. Разработка эффективных методов переработки органической части нефтеотходов способствует снижению вредного воздействия на окружающую среду и повышению эффективности использования ресурсов нефти и нефтепродуктов.

В результате анализа органической части отходов, полученных в процессах нефтепереработки, установлено, что примерно 40 % их составляют обедненные водородом смолообразные продукты [17], в значительном количестве представлены высококонденсированные ароматические углеводороды, которые тесно связаны с графитом, образуя фактически коксовую структуру, отложившуюся на алюмосиликатной поверхности данного отхода. В итоге получается комплексный материал, состоящий из угольных и минеральных компонентов с алюмосиликатной матрицей в качестве минеральной части, образующий сложную и устойчивую структуру.

Таким образом, изучение данного типа отходов не только позволит более глубоко понять их свойства, но и создаст базу для разработки улучшенных методов и технологий их использования, повысит эффективности процессов утилизации и переработки промышленных отходов. Полученные результаты указывают на то, что данный материал обладает высоким содержанием пор, достигающим 50 % объема частиц, что приводит к их плавучести в воде. В то же время размер фракций не превышает 0,1...0,5 мм. Насыпная плотность отхода составляет примерно 400...500 кг/м<sup>3</sup> при значительной удельной поверхности. Кроме того, данный вид отходов обнаруживает особую способность к поглощению нефтяных продуктов, что подтверждается результатами исследования его нефтеемкости. В целом, результаты лабораторных испытаний говорят об потенциале использования таких нефтяных отходов для очистки сточных вод [18—19], содержащих нефтепродукты, после соответствующей дополнительной обработки, например, с применением наномодификации. Таким образом, выявленные свойства этого материала предполагают перспективы его использования в системах очистки для эффективной обработки нефтесодержащих стоков и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Результаты проведенных экспериментов подтверждают целесообразность температурной обработки отходов в течение 3...4 ч. После такой тер-

мической обработки или выдерживания при комнатной температуре отмечается ряд изменений, в т. ч. снижение насыпной плотности отходов, увеличение пористости, снижение набухаемости в воде и увеличение доли частиц, всплывающих в воде.

Дополнительная обработка отходов при температуре 500...600 °С показала, что насыпная плотность снижается до уровня 90...160 кг/м<sup>3</sup> в результате удаления молекулярно связанной воды, гидроксильных групп и выгорания углеводов, входящих в состав алюмосиликатных отходов. Эти изменения приводят к формированию материала с низкой насыпной плотностью и повышенной активностью углеродной поверхности, что обуславливает увеличение сорбционной способности.

### **Выводы**

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о значимости изучения свойств отходов нефтепереработки и их изменений под действием различных технологических факторов для создания и внедрения инновационных, эффективных и экологически безопасных методов утилизации этого типа отходов.

Данное исследование охватывает комплексные проблемы, связанные с качеством очистки природных и сточных вод, ресурсосбережением и экологическими вопросами, связанными с функционированием очистных сооружений. Предложены перспективные пути решения этих проблем, включая снижение затрат на процесс очистки сточных вод путем уменьшения размера очистных сооружений при использовании модифицированных нефтеотходов в качестве средств очистки сточных вод [20]. Это позволяет уменьшить негативное воздействие комплекса очистных сооружений на окружающую среду и является важным шагом в направлении улучшения экологии с точки зрения обращения с отходами и охраны окружающей среды.

В результате внедрения предложенной технологии разработаны сложные высокопористые сорбенты на основе двух видов отходов, полученных в процессе производства алюминия. Эти сорбенты обладают значительной адсорбционной активностью по отношению к ионам тяжелых металлов, таких как медь, кадмий и свинец.

Важно отметить, что данные сорбенты являются материалами многократного использования, они отличаются низкой себестоимостью, экологической привлекательностью и проявляют высокую селективность к ионам свинца.

Эти результаты представляют значительный научный и практический интерес в контексте разработки новых материалов для очистки воды и решения проблем загрязнения окружающей среды и ресурсосбережения. Исследование позволяет перспективно использовать модифицированные отходы в процессах устойчивого развития и содействует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Marwa El-A., Mohamed F. S., Rehab K. M.* Cost estimation of synthesis and utilization of nano-adsorbents on the laboratory and industrial scales: A detailed review // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 875. Pp. 1626—29.
2. *Matheus A. S., Charles W. I. H., Giselle M. M.* Residual diatomaceous earth as a potential and cost effective biosorbent of the azo textile dye Reactive Blue 160 // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. Vol. 8. Iss. 1. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103617.

3. *Sheng-Jie Y. T., Ahmad H.-B., Huan-Ping C.* Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // *Water Research*. 2017. Vol. 120. Pp. 88—116.
4. *Бирман Ю. А., Вурдова Н. Г.* Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов М. : АСВ, 2002. 295 с.
5. *Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю.* Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 4. С. 529—538.
6. *Silva Rodríguez de San Miguel J. A.* Water Supply and Wastewater Treatment and Reuse in Future Cities: A Systematic Literature Review // *Water*. 2023. Vol. 15. Iss. 17. 3064. DOI: 10.3390/w15173064.
7. *Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H. D.* Wastewater engineering: Treatment and reuse // *Journal American Water Works Association*. 2003. Vol. 95. P. 201.
8. *Карелин Я. А., Попова И. А., Евсеева Л. А., Евсеева О. Я.* Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М. : Стройиздат, 1982. 332 с.
9. Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications / I. Michael-Kordatou, C. Michael, X. Duan, X. He, D. D. Dionysiou, M. A. Mills, D. Fatta-Kassinos // *Water Resist*. 2015. Vol. 77. Pp. 213—248.
10. *Москвичева Е. В., Быков А. А., Алексиков А. Е., Геращенко А. А.* Повышение эффективности работы сооружений очистки нефтесодержащих сточных вод // *Интернет-Вестник ВолГАСУ*. 2007. № 2. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-3-11\\_0507.pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-3-11_0507.pdf).
11. *Харламова Т. А., Колесников А. В., Алафердов А. Ф.* Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. II. Электрохимическая деструкция органических веществ; использование электролиза в технологии очистки воды // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2013. № 3. С. 55—62.
12. *Сарбаева М. Т., Москвичева Е. В., Стрелетов И. В., Москвичев С. С.* Получение сорбентов из алюмосиликатных отходов нефтеперерабатывающего завода // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2008. Вып. 12(31). С. 101—104.
13. *Назаров В. Д., Аксенов В. И., Назаров М. Д.* Водное хозяйство промышленных предприятий: справочное издание. Книга 5. М. : Теплотехник, 2008. 439 с.
14. Освоение наилучших доступных технологий водоочистки для промышленных предприятий / Н. Г. Вурдова, Ю. Ю. Юрьев, О. С. Брошко, А. Г. Тимофеев, В. В. Изотов, Е. В. Москвичева, И. С. Ляшенко // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 130—139.
15. Optimization of an electrocoagulation — flotation system for domestic wastewater treatment and reuse / G. H. Bracher, E. Carissimi, D. B. Wolff, C. Graepin, A. P. Hubner // *Environmental Technology*. 2021. Vol. 42. Pp. 2669—2679.
16. *Кузубова Л. И., Морозов С. В.* Очистка нефтесодержащих сточных вод. Новосибирск, 1992. 72 с.
17. Комплексная система очистки сточных вод текстильного предприятия / А. А. Геращенко, О. С. Власова, Д. О. Игнаткина, Ю. Ю. Юрьев, Р. В. Потоловский // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2021. Вып. 2(83). С. 72—83.
18. *Salgot M., Folch M.* Wastewater treatment, and water reuse // *Water Consumption, Tariffs and Regulation*. 2018. Vol. 2. Pp. 64—74.
19. *Тарасевич Ю. И.* Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев : Наукова думка, 1981. 207 с.
20. Технологический подход к организации малосточных систем на нефтеперерабатывающих предприятиях / Н. Г. Вурдова, О. С. Брошко, Ю. Ю. Юрьев, В. В. Изотов, А. Г. Тимофеев, Е. В. Москвичева, Е. А. Бастрыкин // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 140—148.

© Вурдова Н. Г., Абуова Г. Б., Боронина Л. В., Захаров С. С., Радченко О. П., Фролов М. А., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

*Ссылка для цитирования:*

Исследование характеристик гетероповерхностных композиционных сорбентов на основе вторичного сырья / Н. Г. Вурдова, Г. Б. Абуова, Л. В. Боронина, С. С. Захаров, О. П. Радченко, М. А. Фролов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 133—141. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_133.

*Об авторах:*

**Вурдова Надежда Георгиевна** — канд. техн. наук, доц., начальник Управления проектирования объектов водоподготовки и водоочистки, АО «ГМС Нефтемаш», филиал в г. Москве. Российская Федерация, 105203, г. Москва, ул. Первомайская, 126; nadya\_vurdova@mail.ru

**Абуова Галина Бекмуратовна** — канд. техн. наук, доц., декан фак-та инженерных систем и пожарной безопасности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18

**Боронина Людмила Владимировна** — канд. техн. наук, доц. каф. теплоснабжения и вентиляции, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Захаров Сергей Сергеевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Радченко Ольга Петровна** — ассистент каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Фролов Марк Александрович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Nadezhda G. Vurdova<sup>a</sup>, Galina B. Abuova<sup>b</sup>, Lyudmila V. Boronina<sup>c</sup>,  
Sergey S. Zakharov<sup>d</sup>, Olga P. Radchenko<sup>d</sup>, Mark A. Frolov<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> JSC “HMS Neftemash”

<sup>b</sup> Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

<sup>c</sup> Moscow State University of Civil Engineering

<sup>d</sup> Volgograd State Technical University

## STUDY OF CHARACTERISTICS OF HETEROSURFACE COMPOSITE SORBENTS ON THE BASIS OF SECONDARY RAW MATERIALS

In this study the problems of wastewater treatment quality and ecological issues at wastewater treatment plants are considered. The technology of using modified oil and allium wastes for wastewater treatment to reduce the negative impact on the environment has been developed. Complex highly porous sorbents on the basis of oil wastes, showing high adsorption activity towards heavy metals, were obtained. The proposed sorbents are reusable materials, environmentally friendly and highly selective to certain heavy metal ions, especially lead. This discovery may contribute to the development of efficient wastewater treatment methods and to the solution of environmental problems related to water quality.

**Key words:** modified petroleum wastes, wastewater treatment, highly porous sorbents, adsorption activity, environmental problems, water treatment.

*For citation:*

Vurdova N. G., Abuova G. B., Boronina L. V., Zakharov S. S., Radchenko O. P., Frolov M. A. [Study of characteristics of heterosurface composite sorbents on the basis of secondary raw materials]. *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], 2024, iss. 2, pp. 133—141. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_133.

*About authors:*

**Nadezhda G. Vurdova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, JSC "HMS Neftemash". 126, Pervomayskaya st., 105203, Moscow, Russian Federation; nadya\_vurdova@mail.ru

**Galina B. Abuova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 18, Tatishcheva st., 414056, Astrakhan, Russian Federation

**Lyudmila V. Boronina** — Candidate of Engineering Sciences, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russian Federation

**Sergey S. Zakharov** — Master's Degree student, 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

**Mark A. Frolov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 628.3.0

**С. А. Морозов, Д. А. Бутко**

*Донской государственный технический университет*

## **РАСЧЕТ СВЕРХМАЛЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО МЕТОДИКЕ НИИ ВОДГЕО/САМГТУ, СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С ПРОЕКТНЫМ РАСЧЕТОМ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Произведено исследование и корректировка режима работы станции биологической очистки «КСкомплект-100СК» сверхмалой производительности, выполнен мониторинг эксплуатационных параметров работы, проведены лабораторные исследования качества очистки сточных вод на всех этапах технологического процесса. Выявлена критическая нагрузка на станцию очистки сточных вод по гидравлическим параметрам и загрязняющим веществам, приводящая к ненормативному качеству очистки сточных вод. Выполнен расчет очистных сооружений по моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ, СНиП 2.04.03—85 (утратил силу) и сравнение с эксплуатационными характеристиками.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** канализационные очистные сооружения, математический расчет очистки сточных вод, биологическая очистка, модель НИИ ВОДГЕО/СамГТУ, эксплуатационные характеристики технологического режима.

### **Материалы и методы**

На сегодняшний день проблема ненормативного качества очистки хозяйственно-бытовых сточных вод является крайне актуальной [1], в т. ч. для большого количества малых и сверхмалых канализационных очистных сооружений (КОС) северного исполнения вахтовых объектов. Ввиду относительно малых объемов образующихся сточных вод со стороны эксплуатирующих компаний не обеспечивается надлежащий инженерно-технологический контроль за сооружениями, а также упускается из виду такой вопрос как нагрузка на очистные сооружения. Одним из факторов возникновения данной проблемы является некорректный расчет очистных сооружений.

В статье приводятся результаты исследований режима работы и эксплуатационных параметров действующей станции биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод «КСкомплект-100СК» (рис.) по теоретической модели НИИ ВОДГЕО/СамГТУ [2], как одной из наиболее часто применяемой и дающей максимально точные результаты при расчете. Для сравнения приводится расчет по СНиП 2.04.03—85<sup>1</sup> (далее — СНиП), использованный при проектировании станции. Данная станция отнесена к сверхмалым по классификации, данной в приложении 1 Постановления Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1430<sup>2</sup>, т. к. ее расчетная и подтвержденная максимальная производительность составляет всего 30 м<sup>3</sup>/сут в отличие от заявленной в 110 м<sup>3</sup>/сут.

<sup>1</sup> СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200017?ysclid=lx8rlgskw3407975255>.

<sup>2</sup> Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов. Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 N 1430. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565798086>.

Актуальность исследования обусловлена отсутствием общедоступных расчетов малых и сверхмалых очистных сооружений хозяйственно-бытовых сточных вод от объектов с высокой неравномерностью, как по расходам, так и по концентрациям.

Целью исследования является выявление эффективности очистки действующей станции КОС, получение данных для составления технических заданий на аналогичные по производительности и условиям эксплуатации очистные сооружения, оснований для проведения модернизации, согласования допустимой гидравлической нагрузки и загрязняющим веществам [3, 4].

Станция «КСкомплект-100СК» разработана по техническому заданию 2008 г. (произведена в 2011 г.) и предназначена для очистки сточных вод до требований, предъявляемых к поверхностным водам рыбохозяйственного значения. Станция состоит из модульных блоков и включает в себя следующее технологическое и емкостное оборудование: блоки механической и биологической очистки, блок накопления и обработки осадка, установки обеззараживания и реагентного удаления фосфора фосфатов [5]. Следует отметить, что в цепочке технологического оборудования отсутствует установка дозирования подщелачивающего раствора и не предусмотрен денитрификатор.

В соответствии с проектными данными (табл. 1), предоставленными производителем, и со ссылкой на расчеты по нормам СНиП технологическая схема, реализованная на очистных сооружениях должна обеспечивать очистку поступающего стока в соответствии с табл. 1 при среднесуточном расходе  $100 \text{ м}^3$ , максимальной нагрузке  $110 \text{ м}^3$  и среднечасовом расходе  $4,17...4,5 \text{ м}^3$ .

В период с 23.07 по 23.09.2023 г. на станции проводились исследования, которые включали в себя изменение режима работы станции с использованием насосного, дозирующего оборудования, запорной арматуры. Выполнена настройка равномерной подачи сточных вод на станцию в оптимальном режиме  $4,5 \text{ м}^3/\text{час}$ , при максимальном накоплении и распределении во времени поступающих сточных вод от потребителей. В результате в период с 05:00 до 02:00 последующего дня осуществлялась подача сточных вод при постоянном расходе, с 02:00 до 05:00 подающий из усреднительной емкости погружной насос выключался в автоматическом режиме.

Коагулянт «Аква-Аурат 30», предусмотренный для реагентного способа удаления фосфора, в период исследований не применялся по причине его



Станция биологической очистки  
хозяйственно-бытовых сточных вод  
«КСкомплект-100СК»

отсутствия. Поэтому расчетная доза фосфора общего в очищенной воде принята в размере  $1 \text{ мг/дм}^3$  как минимальная при биологическом удалении<sup>3</sup>.

Таблица 1

*Проектные показатели качества очистки сточных вод*

Наименование загрязняющих веществ	Ед. изм.	Неочищенные сточные воды	Очищенные сточные воды
Взвешенные вещества	$\text{мг/дм}^3$	260	3
БПК <sub>полн</sub>	$\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	300	3
Азот аммонийный	$\text{мг/дм}^3$	32	0,4
Азот нитратный	$\text{мг/дм}^3$	—	9,1
Фосфор фосфатов	$\text{мг/дм}^3$	4,3	0,065
СПАВ	$\text{мг/дм}^3$	10	—
Температура	$^{\circ}\text{C}$	16	16
pH	ед.	—	—

Проведена регулировка запорной арматуры подающих трубопроводов на аэраторы, обеспечено значение растворенного кислорода в аэротенке не менее  $2 \text{ мг/дм}^3$  [6]. Текущее проведение химических анализов по перечню предусмотренных показателей в соответствии с режимной картой осуществлялось в производственной лаборатории, за исключением показателей ХПК, БПК<sub>полн</sub>, ПАВ. Контрольные измерения в начале и в конце эксперимента выполнялись аккредитованной лабораторией в г. Красноярске. По мере окончания эксперимента получено максимально возможное качество очистки, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Показатели качества поступающих и очищенных сточных вод на 23.09.23*

Наименование показателя	Ед. изм.	Неочищенная сточная вода	Сточная вода после очистки	Требования к биологически очищенной воде
БПК <sub>полн</sub>	$\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	370	108	3
ХПК	$\text{мгO}/\text{дм}^3$	720	210	15
Взвешенные вещества	$\text{мг/дм}^3$	335	46	5,25
Азот аммонийный	$\text{мг/дм}^3$	51,4	13,5	0,4
Азот нитритов	$\text{мг/дм}^3$	0	3,4	0,024
Азот нитратов	$\text{мг/дм}^3$	2,3	44,5	9,04
Фосфор фосфатов	$\text{мг/дм}^3$	5,18	4,05	1
Водородный показатель	ед.	7,6	6,8	6,5...8,5

Исходные данные, используемые для расчетов, получены измерением рабочих уровней в резервуарах, за мерами расходов жидкостей от насосного оборудования, проведением лабораторных исследований показателей качества очистки сточных вод:

<sup>3</sup> СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. М. : Минстрой России, 2019. 76 с.



- максимальный суточный расход —  $108 \text{ м}^3$ ;
- среднесуточный расход —  $94,5 \text{ м}^3$ ;
- максимальный часовой расход —  $4,5 \text{ м}^3$ ;
- рециркуляционный расход насосом Н2.1 —  $2,6 \text{ м}^3/\text{час}$ ;
- рециркуляционный расход эрлифтом —  $0,64 \text{ м}^3/\text{час}$ ;
- объем усреднительной емкости —  $40 \text{ м}^3$ ;
- объем первичного отстойника —  $9,1 \text{ м}^3$ ;
- объем аэротенка —  $17,6 \text{ м}^3$ ;
- глубина аэротенка  $2,385 \text{ м}$ ;
- площадь вторичного отстойника —  $3,69 \text{ м}^2$ ;
- доза активного ила в аэротенке —  $2,46 \text{ г/л}$ ;
- иловый индекс —  $106 \text{ мл/г}$ ;
- минимальная температура иловой смеси в зимний период —  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- среднемесячная температура иловой смеси в летний период —  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- концентрация растворенного кислорода в аэробной зоне не менее —  $+2 \text{ мг/л}$ .

### Характеристика расчета по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ

Константы и коэффициенты, принятые на основании [2]:

- коэффициент прироста ила  $K_g$  —  $0,3 \text{ г сухого вещества на } 1 \text{ г окисленного БПК}_{\text{полн}}$ ;
- содержание азота в активном иле —  $80 \text{ мг/г}$ ;
- константа потребления ацетата в анаэробной зоне при  $20^\circ\text{C}$   $k_p$  —  $1500 \text{ г ХПК}/(\text{м}^3\text{сут})$ ;
- константа насыщения по ацетату  $K_{\text{HAc}}$  —  $3 \text{ мг/л}$ ;
- ХПК легко окисляемых органических веществ (ацетата) на выходе из анаэробной зоны  $S_{\text{HAc.анаэр}}$  —  $6$ ;
- температурная константа накопления ацетата в анаэробной зоне  $\chi_{\text{HAc}}$  —  $0,03 \text{ град}^{-1}$ ;
- общий максимальный коэффициент неравномерности  $k_{\text{общ. макс}}$  —  $1,14$ ;
- содержание азота в активном иле  $N_{\text{ан}}$  —  $0,08 \text{ мг/мг}$ ;
- стехиометрический коэффициент  $K_{\text{БПК}}/N_{\text{ден}}$  — удельный расход  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  на восстановление азота нитратов  $3,43 \text{ г БПК}/(\text{г N})$ ;
- температурная константа  $\chi_r$ ,  $\text{град}^{-1}$  —  $0,09$ ;
- максимальная скорость роста нитрификаторов  $\mu_{\text{мах. нитр}}$  —  $0,7 \text{ сут}^{-1}$ ;
- константа насыщения по азоту аммонийному  $K_{\text{амм}}$  —  $0,35 \text{ (мг N)}/\text{дм}^3$ ;
- константа распада  $b_{\text{нитр}}$  —  $0,04 \text{ сут}^{-1}$ ;
- растворимость кислорода  $C_T$  в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принятая по справочным данным при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  —  $8,3 \text{ мг/л}$ ;
- среднемесячная температура иловой смеси  $T_w$  в летний период —  $25^\circ\text{C}$ ;
- удельный расход кислорода  $q_0$  —  $1,1 \text{ мг/мг снятой БПК}_{\text{полн}}$ ;
- удельный расход кислорода на нитрификацию  $q_{0\text{нитр}}$  —  $4,57 \text{ мг/мг окисленного азота аммонийного до нитрата}$ ;
- коэффициент  $K_1$ , учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей —  $2,3$ ;
- коэффициент  $K_2$ , при глубине погружения аэраторов  $h_a = 2,2 \text{ м}$  —  $1,6$ ;
- коэффициент  $K_3$  качества воды, принимаемый для городских сточных вод —  $0,85$ ;

• минимальная интенсивность аэрации при  $J_{amin}$  при  $h_a = 2,2$  м —  $7 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ ;

- концентрация активного ила в аэротенке принята  $3,5$  г/л;
- зольность —  $0,25$ ;
- иловый индекс —  $120$  мг/л.

Расчеты, изначально заложенные в СНиП, много раз подтверждены, научно доказана методика расчета аэротенков, основывающаяся на базовых уравнениях ферментативной кинетики и материальном балансе участвующих в процессе биологической очистки веществ. На момент разработки нормативного документа методик расчета процессов нитрификации, денитрификации и удаления фосфора еще не существовало.

Многочисленные исследования НИИ ВОДГЕО и кафедры водоснабжения и водоотведения Самарского государственного технического университета, выполненные на лабораторных и экспериментальных установках на различных по составу сточных водах, а также обследования действующих сооружений с проведением глубокого анализа полученных результатов дали возможность разработать методику расчета аэротенков с удалением биогенных элементов и дополнить методику, заложенную в СНиП, формулами и данными для расчета и усовершенствования работы аэротенков. Расчет сооружений биологической очистки основан на принципе описания процессов окисления органического вещества, биологического удаления фосфора, нитрификации — денитрификации в анаэробных, аноксидных и аэробных условиях с помощью уравнений ферментативной кинетики и уравнений материального баланса, обеспечивающих заданную степень очистки сточной воды по всем основным компонентам [7].

На основании уравнения массового баланса по количеству израсходованного легкоокисляемого вещества, с учетом скорости процесса и требуемого количества вещества для удаления фосфора, получен необходимый объем анаэробной зоны.

Количество израсходованного БПК<sub>полн</sub> на денитрификацию определяется на основании материального баланса и дает возможность получить величину продолжительности денитрификации и соответственно объема аноксидной зоны [8].

Процесс денитрификации заключается в окислении органических загрязнений активным илом, где вместо растворенного кислорода воздуха потребляется кислород нитратов иловой смеси [9]. Поэтому для расчета скорости денитрификации применяется формула бисубстратной ферментативной реакции окисления органических веществ кислородом нитратов, полученная из выражения (49) СНиП<sup>4</sup>.

Длительность пребывания иловой смеси с поступившей сточной водой в аэробной зоне аэротенка рассчитывается как на удаление БПК<sub>полн</sub>, нитрификацию, так и на удаление загрязнений, оказывающих токсическое действие, таких как нефтепродукты, фенолы и СПАВ (при их наличии). Продолжительность аэробного процесса и соответственно объем аэробной зоны определяются по наибольшему времени, необходимому для удаления загрязнений

<sup>4</sup> СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200017?ysclid=lx8rlgskw3407975255>.

с самым длительным временем обработки. После чего уточняется концентрация остальных веществ в очищенной воде.

По полученному результату определяется минимальный возраст активного ила и, т. к. значение расчетного возраста активного ила больше, то пересчитывать объем аэробной зоны не требуется.

Значения кинетических констант и коэффициентов можно определить опытным путем на лабораторных установках по данным, полученным при эксплуатации аналогичных объектов с близкими по составу сточными водами (табл. 3).

Таблица 3

*Значения кинетических констант и коэффициентов*

Наименование	Ед. изм.	Окисление органических веществ	Нитрификация
Максимальная скорость окисления, $\rho_{\max}$	мг/(гч)	20,6	3,39
Константа Михаэлиса, $K_m$	мг/л	7	0,35
Константа торможения, $\alpha$	—	—	55
Коэффициент ингибирования продуктами метаболизма, $\varphi$	л/г	0,07	0,07
Температурная константа, $\chi$	град <sup>-1</sup>	0,09	0,096
Кислородная константа, $K_0$	мг/л	0,625	0,625
Удельный расход БПК на удаление фосфора, $K_{\text{БПК/P}}$	мг/мг	15	—

Результаты расчета по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ представлены в табл. 4.

Таблица 4

*Характеристики процесса очистки, рассчитанные по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ*

Наименование определяемого показателя	Ед. изм.	Значение
Максимальный часовой расход, $K_{\text{ч,max}}$	м <sup>3</sup> /час	4,5
Продолжительность анаэробного процесса, $T_{\text{анаэроб}}$	ч	2,01
Общая степень рециркуляции между зонами нитрификации и денитрификации, $R_{\text{общ}}$	—	3,66
Рециркуляция возвратного ила из вторичного отстойника, $R_i$	—	0,72
Нитратный рецикл из конца нитрификатора в денитрификатор, $R_{\text{нитр}}$	—	2,94
Продолжительность денитрификации, $T_{\text{ден}}$	ч	3,46
Продолжительность нитрификации, $T_{\text{нитр}}$	ч	11,19
Расчетная продолжительность окисления органических веществ в аэробной зоне (нитрификаторе), $T_{\text{БПК}}$	ч	14,03
Суммарная продолжительность обработки, $T_{\text{общ}}$	ч	19,5
Объем анаэробной зоны, $W_{\text{анаэроб}}$	м <sup>3</sup>	9,03

Окончание табл. 4

Наименование определяемого показателя	Ед. изм.	Значение
Объем аноксидной зоны, $W_{\text{анокс}}$	м <sup>3</sup>	15,55
Объем аэробной зоны, $W_{\text{аэроб}}$	м <sup>3</sup>	63,12
Суммарный объем аэротенка, $W_{\text{общ}}$	м <sup>3</sup>	87,7
Общий рециркуляционный расход, $Q_{\text{общ}}$	—	16,49
Доза коагулянта «Аква-Аурат 30» по $\text{Al}_2\text{O}_3$ для реагентного удаления фосфора с 1 до 0,05 мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	4,65

### Характеристика расчета по СНиП 2.04.03—85

Константы и коэффициенты, применяемые при расчете в СНиП, приняты равными для методики НИИ ВОДГЕО/СамГТУ.

В соответствии с п. 6.141 СНиП<sup>5</sup> регенератор активного ила следует закладывать в расчет при БПК<sub>полн</sub> поступающей в аэротенки сточной воды более 150 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Так как исследуемые очистные сооружения имеют конструкцию «первичный отстойник — аэротенк — вторичный отстойник», которую можно модернизировать путем замены функций первичного отстойника денитрификатором, производился расчет как по методике «аэротенк-вытеснитель без регенератора», так и по методике «аэротенк-вытеснитель с регенератором».

Результаты расчетов по методикам СНиП для «аэротенк-вытеснитель без регенератора» и «аэротенк-вытеснитель с регенератором» представлены в табл. 5.

Таблица 5

*Характеристики процесса очистки,  
рассчитанные по методике СНиП 2.04.03—85*

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
<b>Аэротенк-вытеснитель без регенератора</b>		
Степень рециркуляции активного ила, $R_i$		0,72
Период аэрации в аэротенках-вытеснителях, $t_{\text{ав}}$	ч	18
Объем аэротенка-вытеснителя с учетом рециркуляционного расхода, $W_{\text{ат}}$	м <sup>3</sup>	105,23
<b>Аэротенк-вытеснитель с регенератором</b>		
Степень рециркуляции активного ила, $R_i$		0,72
Продолжительность обработки воды в аэротенке, $t_{\text{ат}}$	ч	2,48
Продолжительность регенерации, $t_r$	ч	94,05
Продолжительность пребывания в системе аэротенк — регенератор, $t$	ч	72,39
Объем аэротенка с учетом рециркуляционного расхода, $W_{\text{ат}}$	м <sup>3</sup>	19,25
Вместимость регенераторов, $W_r$	м <sup>3</sup>	306,49

В таблице 6 для сравнения приведены результаты расчетов и фактические рабочие параметры очистных сооружений.

<sup>5</sup> СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения. С. 43.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200017?ysclid=lx8rlgskw3407975255>.

Т а б л и ц а 6

Расчетные и эксплуатационные параметры «КСкомплект-100СК»

Параметры очистных сооружений	Ед. изм.	Фактические рабочие характеристики	По действующим расходам			По проектным загрязнениям (табл. 1)
			НИИ ВОДГЕО /СамГТУ	СНиП, АТ+Р*	СНиП, АТ—Р**	СНиП, АТ—Р, коэф. и конст., 1985 г.
Максимальный суточный расход	м <sup>3</sup>	108	108	108	108	108
Среднесуточный расход	м <sup>3</sup>	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
Анаэробный рецикл	доли ед.	не предусмотрен	1	—	—	—
Рецикл возвратного ила из вторичного отстойника	доли ед.	4,1	0,72	0,72	0,72	0,72
Нитратный рецикл	доли ед.	не предусмотрен	2,94	—	—	—
Объем анаэробной зоны	м <sup>3</sup>	—	9	—	—	—
Объем аноксидной зоны	м <sup>3</sup>	—	15,5	—	—	—
Объем аэробной зоны	м <sup>3</sup>	17,6	63	105	19 + 306**	21,7
Аэробный возраст активного ила	сут	—	18,58	—	—	—
Общий возраст активного ила	сут	—	25,81	—	—	—
Расход воздуха	м <sup>3</sup> /ч	235	52	88	88	88
Доза реагента по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> для удаления фосфора	мг/дм <sup>3</sup>	—	4,89	—	—	—
Количество избыточного активного ила по сухому веществу	кг/сут	—	13,25	40,9	40,9	8,75

Примечание: АТ+Р\* — аэротенк-вытеснитель с регенератором; АТ—Р\*\* — аэротенк-вытеснитель без регенератора; \*\*\* — объем регенератора

### Обсуждение результатов

В соответствии с имеющимися данными о расходе сточных вод можно сказать, что на сегодняшний день станция работает в соответствии с заложенной при проектировании гидравлической нагрузкой, но на основании расчетов максимальная допустимая производительность станции —  $30 \text{ м}^3/\text{сут}$  [10].

Превышения нормативных значений в поступающих сточных водах наблюдаются по всем загрязнениям в пределах 20...60 % (см. табл. 3). В конструкции очистных сооружений не предусмотрен денитрификатор, это приводит к высокому содержанию нитратов в очищенной воде даже при частично протекающей нитрификации [11].

Технологической схемой не предусмотрена установка дозирования подщелачивающего раствора, из-за чего дозирование раствора кальцинированной соды производилось вручную.

В соответствии с п. 9.2.5.7<sup>6</sup> для достижения расчетного значения концентрации фосфора фосфатов менее 1 мг/л с использованием солей алюминия требуется предусмотреть соотношение 1,3 кг алюминия на 1 кг осажденного фосфора, следовательно, для уменьшения концентрации фосфора с 1 до  $0,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$  надо использовать  $4,65 \text{ мг}/\text{дм}^3 \text{ Al}_2\text{O}_3$  и на каждый последующий 1 мг фосфора —  $4,89 \text{ мг Al}_2\text{O}_3$  или  $16,3 \text{ мг}$  товарного «Аква-Аурат 30».

При расчете по СНиП со стандартными табличными константами и коэффициентами получен объем аэротенка, близкий к проектному —  $20 \text{ м}^3$  ( $4,1 \times 1,8 \times 2,7 \text{ м}$ ). Фактический рабочий объем аэротенка —  $17,6 \text{ м}^3$  при высоте уровня 2,385 м. Таким образом, подтверждается заявление, приведенное в проектной документации, о том, что расчет станции «КСкомплект-100СК» выполнен по СНиП. Результаты, полученные по расчетам НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и СНиП при актуальных коэффициентах и константах, свидетельствуют о сильно заниженном проектном объеме аэротенка, что подтверждено мониторингом режима работы станции и результатами химических анализов.

Отсутствие избыточного активного ила можно объяснить постоянным его выносом из вторичного отстойника, что свидетельствует о непрерывном процессе наращивания биомассы (см. табл. 3) [12, 13].

### Выводы

1. Произведены расчеты очистных сооружений по методикам НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и СНиП. Обосновано утверждение в проектной документации о расчете «КСкомплект-100СК» по СНиП. Установлено, что в формулах применялись константы и коэффициенты, актуальные на 1985 г.

2. Установлена корректность расчетов по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ.

3. Выявлен недостоверный расчет аэротенка на момент проектирования станции — при заявленном допустимом  $\text{БПК}_{\text{полн}} 300 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  поступающих неочищенных сточных вод. При данной нагрузке следовало предусмотреть аэротенк-вытеснитель с регенератором.

<sup>6</sup> Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов. Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 N 1430. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565798086>.

4. Обоснована недопустимость проектирования очистных сооружений без денитрификатора. Для достижения нормативного качества очистки сточных вод в пределах расчетной производительности  $30 \text{ м}^3/\text{сутки}$  и обеспечения очистки по нитратам потребуются модернизация сооружений — дооснащение денитрификатором [14]. Из имеющихся технических возможностей для этого целесообразно задействовать первичный отстойник, снабдив его перемешивающим устройством.

5. Для обеспечения необходимого pH [15], понижающегося в процессе нитрификации, дооснастить технологическую схему установкой дозирования подщелачивающего раствора.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. М.: Мир, 2004. 480 с.
2. Степанов С. В. Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов: учебное пособие. М.: АСВ, 2023. 224 с.
3. Крупин Л. В., Морозова К. М. Реконструкция канализационных очистных сооружений г. Сатпаева // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: сб-к статей. Самара: СамГТУ, 2021. С. 652—659.
4. Moragasipitiya C., Rajapakse J., Senadeera W., Ali I. Simulation of Dynamic Behaviour of a Biological Wastewater Treatment Plant in South East Queensland, Australia using Bio-Win Software // Engineering Journal. 2017. Vol. 21. Iss. 3. Pp. 1—22.
5. Павлинова И. И., Крупский А. С. Совершенствование очистки сточных вод от избыточных соединений фосфора с использованием биотехнологических приемов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). С. 519—523.
6. Hoque M. A., Avarinthan V., Pradhan N. M., Sakhiya A. Combined Titrimetric Respirometer as a Real-Time Sensor to Monitor the Aerobic Biodegradation Process of Different Substrates // Journal of Applied Sciences. 2011. Vol. 11. Iss. 13. Pp. 2299—2305.
7. Харькина О. В. Сравнение результатов расчетов аэротенков по моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и ASM2d // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 18—29.
8. Assmann C., Scott A., Biller D. Drink. Online total organic carbon (TOC) monitoring for water and wastewater treatment plants processes and operations optimization // Drinking Water Engineering and Science. 2017. Vol. 10. Iss. 2. Pp. 61—68.
9. Approach for a novel control strategy for simultaneous nitrification/denitrification in activated sludge reactors / M. Fuerhacker, H. Bauer, R. Ellinger, U. Sree, H. Schmid, F. Zibuschka, H. Puxbaum // Water Research. 2000. Vol. 34. No. 9. Pp. 2499—2506.
10. Серпокрылов Н. С., Борисова В. Ю., Скибина Е. В. Повышение среднесуточной окислительной способности биоценоза аэротенка // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25(44). С. 306—310.
11. Krovvidy S., Wee W. G. Wastewater Treatment Systems from Case-Based Reasoning // Machine Learning. 1993. Vol. 10. Pp. 341—363.
12. Математическое описание экспериментальных закономерностей процесса сорбционной доочистки сточных вод на примере предприятия табачной индустрии РФ / Д. О. Игнаткина, А. П. Поздняков, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Войтюк // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 110—123.
13. Caraman S., Luca L., Vasiliev I., Barbu M. Optimal-Setpoint-Based Control Strategy of a Wastewater Treatment Process // Processes. 2020. Vol. 8. Iss. 1203. Pp. 1—16.
14. Nitrogen removal from water resource recovery facilities using partial nitrification, denitrification-anaerobic ammonia oxidation (PANDA) / R. Sharp, W. Khunjar, D. Daly, J. Perez-Terrero, K. Chandran, A. Niemiec, F. Pace // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 724. Pp. 1—9.
15. Monitoring denitrification by means of pH and ORP in continuous—flow conventional activated sludge processes / L. Luccarinia, D. Pulcinib, D. Sottarac, R. Di Cosmod, R. Canziani // Desalination and Water Treatment. 2017. Pp. 319—325. DOI:10.5004/dwt.2017.11119.

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Морозов С. А., Бутко Д. А. Расчет сверхмалых канализационных очистных сооружений по методике НИИ ВОДГЕО/СамГТУ, сравнение результатов с проектным расчетом и эксплуатационными характеристиками // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 142—152. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_142.

Об авторах:

**Морозов Степан Александрович** — аспирант каф. водоснабжения и водоотведения, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

**Бутко Денис Александрович** — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; den\_111@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3792-7198

**Stepan A. Morozov, Denis A. Butko**

*Don State Technical University*

#### **CALCULATION OF ULTRA-SMALL SEWAGE TREATMENT PLANTS ACCORDING TO THE METHODOLOGY OF THE VODGEO/SAMGTU RESEARCH INSTITUTE, COMPARISON OF THE RESULTS WITH THE DESIGN CALCULATION AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS**

The research and adjustment of the operating mode of the biological treatment plant “KSkomplekt-100-SK” of ultra-low productivity was carried out, the operational parameters of the operation were monitored, laboratory studies of the quality of wastewater treatment at all stages of the technological process were carried out. A critical load on the wastewater treatment plant has been identified in terms of hydraulic parameters and pollutants, leading to an abnormal quality of wastewater treatment. The calculation of wastewater treatment plants according to the models of the VODGEO/SamGTU Research Institute, SNiP 2.04.03—85 (expired) and comparison with operational characteristics.

**Key words:** sewage treatment plants, mathematical calculation of wastewater treatment, biological treatment, research Institute model, operational characteristics of the technological regime.

*For citation:*

Morozov S. A., Butko D. A. [Calculation of ultra-small sewage treatment plants according to the methodology of the VODGEO/SamGTU Research Institute, comparison of the results with the design calculation and operational characteristics]. *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], 2024, iss. 2, pp. 142—152. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_142.

*About authors:*

**Stepan A. Morozov** — Postgraduate student, Don State Technical University. 1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Denis A. Butko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Don State Technical University. 1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, Russian Federation; den\_111@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3792-7198



УДК 504.054

**А. А. Тихонова, И. В. Владимцева, А. А. Дементьева, М. А. Катехлиев**

*Волгоградский государственный технический университет*

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕТОДА КАВИТАЦИИ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

Приведены результаты анализа факторов, нарушающих экологическое равновесие и вызывающих негативные последствия для окружающей среды. Предлагается комплексный подход к повышению экологической безопасности при эксплуатации сооружений биологической очистки с использованием в технологическом процессе метода кавитации низкой интенсивности. Разработанные инженерные и технологические решения позволяют усовершенствовать технологии биоочистки. В результате уменьшается негативное воздействие атмосферных выбросов, жидких стоков и твердых отходов на окружающую среду при эксплуатации аэротенков колонного типа на основе использования метода кавитации низкой интенсивности,

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, негативное воздействие на окружающую среду, сооружения биологической очистки сточных вод, аэротенки колонного типа, кавитация низкой интенсивности.

**Введение**

Важнейшей экологической проблемой современного общества является сохранение безопасной для жизнедеятельности человека среды обитания. В связи с этим одним из основных направлений «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» является улучшение состояния окружающей среды, включая развитие и стимулирование инновационных и экологически чистых технологий, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду, развитие индустрии обработки и утилизации отходов<sup>1</sup>. Система экологической безопасности объектов городского хозяйства (ОГХ) сталкивается с рядом проблем, негативно влияющих на состояние окружающей среды. Образование дурно пахнущих веществ (ДПВ) на станциях перекачки стоков влечет за собой снижение качества атмосферного воздуха, и, как следствие, дискомфорт, недомогания, появление заболеваний, потерю трудоспособности у населения. Очистные сооружения, построенные в непосредственной близости к городу или в черте города, занимают огромные площади, являются источником неприятных запахов, вредных газовых испарений и, зачастую используя устаревшие технологии, имеют довольно низкий уровень очистки стоков. Сливая недостаточно очищенную воду, такие очистные сооружения загрязняют водоемы. Кроме того, в процессе биологической очистки стоков образуются значительные объемы твердых отходов — илового осадка, который содержит

<sup>1</sup> Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года // Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe\\_razvitiye/strategicheskoe\\_planirovaniye\\_prostranstvennogo\\_razvitiya/strategiya\\_prostranstvennogo\\_razvitiya\\_rossiyskoy\\_federacii\\_na\\_period\\_do\\_2025\\_goda](https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitiye/strategicheskoe_planirovaniye_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda).

канцерогенные и токсичные вещества (соли тяжелых металлов, синтетические ПАВ), микроорганизмы (патогенные бактерии, плесневые грибы, простейшие) и паразитов (личинки и яйца гельминтов).

Ключевым моментом в решении проблем, связанных с загрязнением окружающей среды при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод, является комплексный подход, исключающий все вышеперечисленные причины негативного воздействия.

Целью данного исследования является анализ негативных факторов, воздействующих на городские территории при эксплуатации сооружений биологической очистки, и разработка инженерного решения, связанного с использованием в технологической схеме метода кавитации низкой интенсивности, позволяющего осуществить комплексный подход к снижению негативного воздействия загрязнений на окружающую среду.

#### **Материалы и методы**

При проведении исследований авторами использованы общенаучные методы: теоретико-методологический анализ литературных источников; эмпирические методы исследования, описания и сравнительно-сопоставительного анализа; эколого-экономический анализ; исследование процессов, протекающих в технологических установках, установление закономерностей их протекания, нахождение зависимостей, необходимых для их анализа.

#### **Результаты исследования**

Изучению вопросов обеспечения экологической безопасности городских территорий посвящены труды отечественных и зарубежных ученых [1—9]. Результаты многочисленных исследований показывают, что функционирование ОГХ оказывает негативное влияние на атмосферный воздух, почвенный покров, поверхностные и подземные воды. Образуются прочные зависимости между ОГХ и природными компонентами. Самым простым примером такой зависимости можно представить городскую улицу, где антропогенным элементом является насосная станция, перекачивающая сточные воды на дальнейшую очистку, а природным компонентом выступает атмосферный воздух [4, 10, 11]. Спектр негативного воздействия ОГХ оказывается настолько широким, что вызывает последствия, характерные практически для любого современного города [12]. С. Т. Nguyen (с соавт.), обобщив и систематизировав результаты аналитических исследований, представил всю совокупность экологических проблем от воздействия ОГХ во взаимосвязи: загрязнение воздушной среды выбросами; загрязнение водных объектов сбросами сточных вод, имеющих низкий уровень очистки; загрязнение почвенного покрова при размещении твердых отходов — илового осадка сточных вод.

В идеале ОГХ должны обеспечивать благоприятные условия для проживания населения и не оказывать негативного воздействия на природные экосистемы. Взаимодействие человека и высокоурбанизированной среды формирует уникальную экосистему, известную как урбанизированная. Очевидно, что урбанизированная экосистема непрерывно использует внешние ресурсы и лишена возможности саморегуляции. Такая система эволюционирует не в соответствии с естественными законами, а исходя из потребностей экономической активности человека. Следовательно, подход к разрешению дисбаланса в урбанизированной экосистеме должен быть специфическим, учитывать все параметры как естественных, так и антропогенных ее компонентов.

Понятие «негативный фактор, воздействующий на окружающую городскую среду» подразумевает, прежде всего, специфику процесса его воздействия на окружающие компоненты, в ходе которого появляются признаки негативного изменения. Каждый подобный процесс имеет свои особенности воздействия и определяется по характеру, интенсивности, источнику и др. [13]. Сравнительный анализ особенностей воздействия негативных факторов на окружающую городскую среду позволил систематизировать их по характеру влияния на природные компоненты урбанизированных территорий.

Значимым негативным фактором в городской среде является использование земель как физического пространства и основы для строительства и размещения ОГХ. В зависимости от характера использования земля подвергается истощению, переуплотнению, загрязнению, подтоплению и пр.

Итак, загрязнение природных компонентов в городских экосистемах связано, помимо прочих причин, с ОГХ [7, 14, 15]. Несомненно, степень воздействия различных источников загрязнения варьируется и определяется рядом социально-экономических факторов: законодательных, политических, демографических и инфраструктурных [2, 6].

Экологические требования, изложенные в гл. VII ФЗ «Об охране окружающей среды», относительно размещения объектов хозяйственной деятельности, их проектирования, строительства и реконструкции, а также ввода в эксплуатацию, не обеспечивают в полной мере равновесия в урбанизированной экосистеме и приводят к вышеописанным последствиям<sup>2</sup>. Что относится и к сооружениям биологической очистки, которые в настоящее время занимают значительные площади.

Следует отметить весомый вклад ОГХ в загрязнение окружающей среды урбанизированных территорий химическими веществами. В процессе сбора стоков на насосных станциях происходит образование газовых выделений, в том числе ДПВ, негативно влияющих как на сотрудников насосных станций, так и на жителей близлежащих домов. Качество атмосферного воздуха в таких условиях снижается, что оказывает ощутимое влияние на благополучие окружающей среды. В настоящее время во всем мире неприятные запахи рассматриваются как фактор загрязнения окружающей среды, который следует нормировать, стремясь снизить выбросы ДПВ. Государственными органами финансируются программы по контролю и предотвращению негативного влияния запахов на окружающую среду.

В системе водоотведения городов образуются такие опасные соединения, как метан, сероводород, диоксид углерода, аммиак и многие другие. Их наличие влечет за собой угрозу для здоровья и жизни населения, обрушения сооружений в результате взрыва газа в коллекторах, а также вносит значительный вклад в образование парникового эффекта [11, 14, 16].

Ухудшение качества природных вод является одной из ключевых экологических проблем. Оно во многом обусловлено сбросом недостаточно очищенных сточных вод в водоемы. Часто используемые устаревшие технологии показывают довольно низкий уровень очистки стоков. Актуальность проблемы загрязнения поверхностных водоемов сточными водами связана не только

---

<sup>2</sup> Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303>.

с нарушением природоохранных и рыбохозяйственных требований, но и с трудностями, возникающими при подготовке воды для питьевого и промышленного водоснабжения из загрязненных водоемов [17].

Одним из весьма значимых негативных антропогенных воздействий является изымание территорий, уничтожение почв и загрязнение ландшафтов при организации полигонов и несанкционированных свалок отходов, в т. ч. иловых осадков. Иловые осадки характеризуются содержанием канцерогенных и токсичных веществ, солей тяжелых металлов, синтетических ПАВ и др., количество которых определяется наличием в хозяйственно-бытовых стоках примесей производственных сточных вод [18, 19].

Довольно сложным вредным фактором в плотно застроенной городской среде можно считать биологическое загрязнение, вызванное появлением и распространением патогенных микроорганизмов в воздухе, в воде или в почве, что может привести к потенциальным угрозам здоровью населения, возникновению эпидемий. Источниками таких микроорганизмов могут выступать системы водоотведения и водоснабжения [20].

Приведенный анализ вредных воздействий ОГХ на городскую среду позволяет выявить разнообразие факторов воздействия, одновременно подчеркивая важность установления их взаимосвязей и систематизации данных параметров для эффективного контроля.

С целью осуществления комплексного подхода к снижению негативного воздействия выбросов ДПВ, сбросов в водоемы и твердых отходов, образующихся при эксплуатации городских сооружений биологической очистки, авторы предлагают использовать на этапах технологического процесса метод кавитации низкой интенсивности.

Кавитация ассоциируется с искусственно созданным воздействием, которое разрушает живые и неживые объекты. Однако при уменьшении в тысячи раз интенсивности кавитации она превращается в эффективное избирательное средство подавления патогенной микрофлоры, а также надежно защищает твердые тела, например лопасти гидравлических машин, от разрушения [21]. При низкой интенсивности кавитации жидкость перемещается с большой скоростью поступательно-вращательно, направление движения обеспечивается при помощи направляющих потока, выполненных в форме «спиралей Архимеда», создающих заданный вектор движения и дискретный пленочный режим разделения жидкости. При этом значительно увеличиваются размеры образующихся линзообразных пузырей (центров кавитации), которые при сжатии потока коллапсируют, с высвобождением кумулированной энергии. В результате этого процесса находящиеся в центрах крупные включения, например яйца и личинки гельминтов, мгновенно разрушаются. Сапрофитные бактерии, утилизирующие загрязнения сточных вод (*Bacillus* и *Pseudomonas*), получают дополнительные источники питания, приобретают усиленную ростовую и ферментативную активность. Правосторонний вектор движения жидкости, обеспеченный спиралью Архимеда, и гидравлическое сжатие жидкости полностью предотвращают разрыв потока и придают ему вращательное движение, стимулируя интенсивный рост аэробных микроорганизмов.

Для защиты атмосферного воздуха от ДПВ разработано устройство с использованием метода кавитации низкой интенсивности [22] (рис. 1).

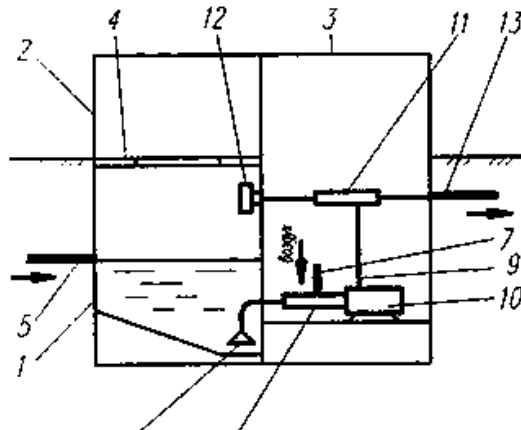


Рис. 1. Устройство для очистки сточных вод от ДПВ с использованием кавитации низкой интенсивности: 1 — приемный резервуар для стоков; 2 — приемная камера; 3 — канализационная насосная станция; 4 — крышка люка; 5 — самотечный трубопровод; 6 — устройство интенсификации окислительной способности; 7 — устройство ввода воздуха в поток; 8 — заборник жидкой фазы стоков; 9 — трубопровод; 10 — насос; 11 — активатор; 12 — заборное устройство; 13 — напорный трубопровод

Установка работает следующим образом. Стоки, состоящие из жидкой и газо-воздушной фазы, поступают в приемный резервуар 1 по самотечному трубопроводу 5. При включении насоса 10 через заборник 8 осуществляется забор жидкой фазы стоков и происходит ее подача в камеру ускорения устройства 6. В данной камере поток жидкой фазы ускоряется, приобретает винтообразное движение, кавитация в потоке уменьшается. В камере разрежения устройства 6, где создается разрежение и происходит подсос атмосферного воздуха через устройство 7, образуется двухфазная смесь. Обработанный в устройстве 6 поток подается насосом 10 через трубопровод 9 в камеру ускорения активатора 11 через один вход с потоконаправляющими устройствами. Через другой вход активатора 11, также снабженный потоконаправляющими устройствами и связанный трубопроводом с заборным устройством 12, происходит подсос газовой фазы стоков из резервуара 1.

В данной камере при турбулизации сформированного потока происходит активное окисление органических веществ — источников неприятных запахов. Обработка ДПВ из жидкой и газо-воздушной фаз стоков продолжается в камере устройства 11, где вращательное движение воздушно-иловой смеси интенсифицирует образование в микрообъемах биопленки. Дурнопахнущие компоненты переносятся из воздуха в жидкость, а затем окисляются микрофлорой в биопленке. Из устройства 11 очищенный от ДПВ поток жидкости напорным трубопроводом 13 канализационной насосной станции 3 подается на очистные сооружения для последующей биологической очистки.

Устройство для снижения числа кавитации в водяном потоке 6, установленное на всасывающем патрубке насоса 10 обеспечивает условия физико-химического окисления легко окисляемых органических веществ в стоке для дальнейшего предотвращения выделения из воды летучих ДПВ. Сточная вода, обработанная кавитацией низкой интенсивности, проходит через активатор 11, в котором происходит биоокисление, и концентрация в жидкости

молекул, служащих источником неприятного запаха, снижается практически до нуля. Активатор монтируется на напорном трубопроводе и обеспечивает принудительный забор загрязненного воздуха из помещения и нейтрализацию ДПВ. Схема активатора представлено на рис. 2.

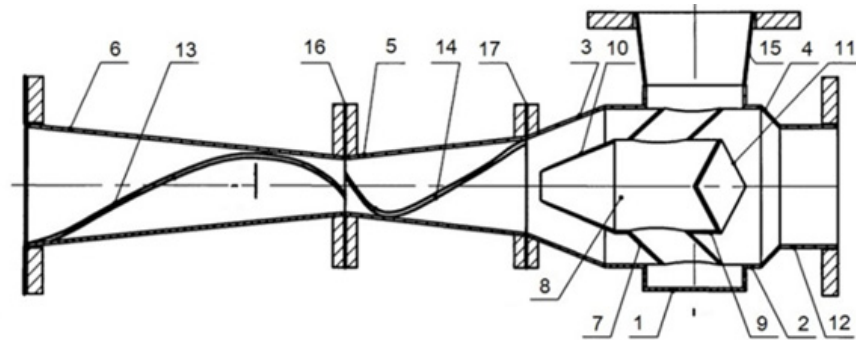


Рис. 2. Схема активатора: 1 — корпус; 2, 9 — цилиндрическая часть; 3, 4, 5, 6, 10 — конусная часть; 7 — направляющая; 8 — обечайка; 11 — конусная часть обечайки; 12 — заборник воздуха; 13 — катодная спираль; 14 — анодная спираль; 15 — фланец; 16, 17 — диэлектрическая прокладка

В результате применения описанного устройства содержание в воздухе ДВП, определенное органолептически, снижается практически до нуля.

Для снижения негативного воздействия на водные объекты от некачественно очищенных на городских очистных сооружениях сточных вод нами предложено инженерное решение на основе использования метода кавитации низкой интенсивности [23]. Данное технологическое решение позволяет интенсифицировать биохимические процессы биоценоза активного ила, уничтожить патогенную микрофлору и значительно повысить окислительную способность всей системы и процессов, протекающих при биологической очистке сточных вод.

Технологически достижение кавитации низкой интенсивности, приводящей к подавлению патогенной микрофлоры, предотвращению расслоения потока жидкости и нарушению работы насоса, достигается при установлении на трубопроводе эксцентрически суженного участка, где размещены с наклоном по часовой стрелке к потоку профилированные элементы сопротивления — спирали Архимеда. Благодаря этому скорость движения очищаемой жидкости достигает скорости вращения рабочего колеса насоса, обеспечивая неразрывность потока. Входящий для очистки поток жидкости «закручивается», оставаясь таковым и после насоса, что способствует генерации микрокаверн.

В данной технологической схеме биореактор работает по принципу колонных аэротенков-вытеснителей с применением оксиджетной аэрации с постоянной циркуляцией жидкости. Это позволяет увеличить количество аэробных микроорганизмов и ферментов, которые ведут интенсивное окисление и разложение органических веществ в очищаемой воде. Под воздействием кавитации низкой интенсивности активный ил обогащается нитчатными и флокулообразующими микроорганизмами и переходит во вспухшую форму. Из ила выводятся балластные микроорганизмы, при этом значительно повышается общая окислительная способность активного ила за счет

нитчатой разветвленной формы и его большой площади соприкосновения с загрязнениями. В таблице приведена сравнительная оценка показателей очистки стоков при использовании классического метода и разработанной технологии с применением кавитации низкой интенсивности (для очистных сооружений производительностью 700 м<sup>3</sup>/сут).

*Сравнительная характеристика показателей очистки стоков  
 классическим методом и по технологии  
 с применением кавитации низкой интенсивности*

Наименование показателя	Классические очистные сооружения [24]		Очистные сооружения с использованием кавитации низкой интенсивности	
	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Качество сточной воды (мг/дм <sup>3</sup> ), в т. ч.:				
БПК	200	12	290	3
Взвешенные вещества	600	15	250	30
Жиры	165	72	0,50	0,05
Занимаемая площадь, га	~ 5		0,05	
Санитарно-защитная зона, м	≥ 500		100	
Энергозатраты, кВт·час	~ 900		200,6	

Таким образом, в результате эксплуатации сооружений биологической очистки на основе предложенной технологии с использованием метода кавитации низкой интенсивности:

- снижается загрязнение водной среды, что обеспечивает ее экологическую безопасность;
- значительно уменьшается площадь под очистным сооружением;
- уменьшается ширина санитарно-защитной зоны;
- снижаются энергозатраты на эксплуатацию сооружения биологической очистки.

Предложен способ переработки илового осадка, образующегося при эксплуатации городских очистных сооружений в процессе биологической очистки сточных вод, с использованием метода кавитации низкой интенсивности [25]. Разработанный способ позволяет провести практически полное санитарное обезвреживание (до 90 %) осадка с вовлечением его в дальнейший хозяйственный оборот с минимизацией размещения в окружающей среде. С этой целью на выходе из биореактора установлено дополнительное устройство генерирования кавитации низкой интенсивности — кавитационный пастеризатор. Учитывая, что общее количество микрофлоры в обрабатываемой смеси значительно выше, чем в очищаемой воде, в кавитационном пастеризаторе вдвое увеличивали количество спиралей Архимеда. На рисунке 3 приведено устройство для генерирования кавитации низкой интенсивности при обработке илового осадка.

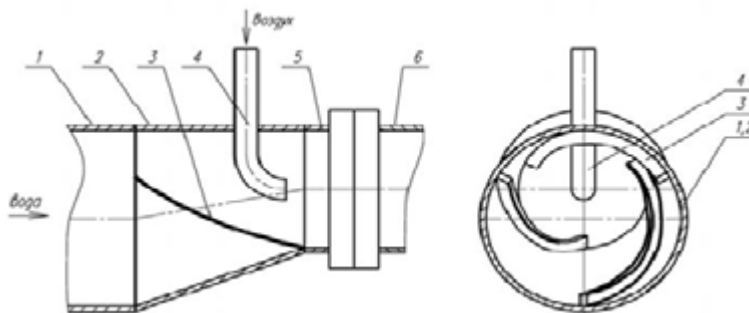


Рис. 3. Устройство для обработки илового осадка:  
1 — подающий патрубок; 2 — эксцентрический участок; 3 — спираль Архимеда;  
4 — трубка Пито; 5 — разгонный патрубок; 6 — насос

При этом обеспечивается эффективное уничтожение патогенной микрофлоры и обеззараживание активного ила (подтверждено сертификатом соответствия № 0053274 от 12.05.2015, выданным на основании протокола испытаний Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» № 1743 от 03.03.2015).

На основании проведенных исследований предложена технологическая схема биологической очистки сточных вод в аэротенках колонного типа с использованием метода кавитации низкой интенсивности, позволяющая реализовать комплексный подход к снижению негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации очистных сооружений (рис. 4).

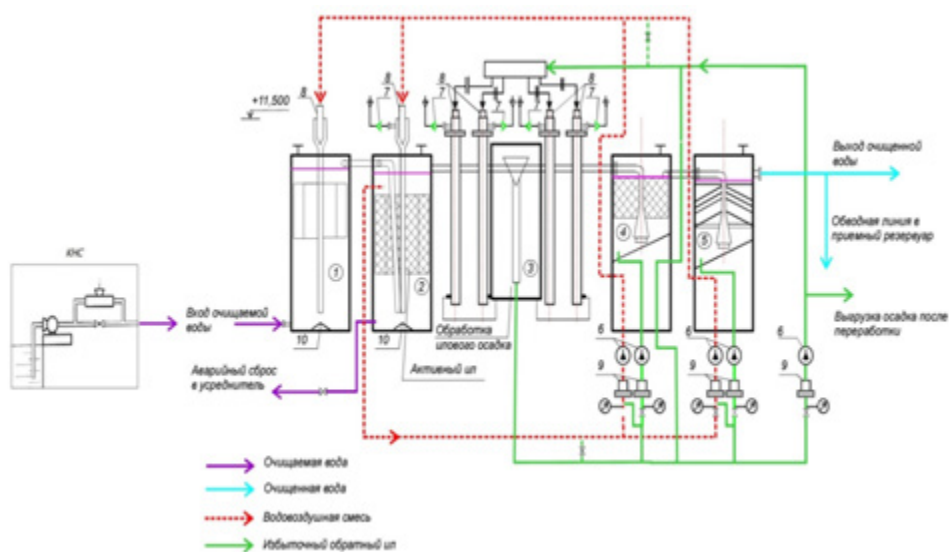


Рис. 4. Технологическая схема биологической очистки в аэротенках колонного типа с использованием метода кавитации низкой интенсивности: 1 — усреднитель; 2 — биореактор; 3 — кавитационный пастеризатор; 4 — седиментатор; 5 — блок доочистки; 6 — насосы; 7 — обратные клапаны; 8 — оксиджеты; 9 — активаторы; 10 — отражатели

Процесс осуществляется следующим образом. Сточная вода поступает на КНС, где происходит предварительная кавитационная обработка в процес-



се удаления дурнопахнущих газообразных соединений. После напорного коллектора вода поступает в усреднитель 1, где проходит усреднение по количественному и качественному составу, обеспечивается перемешивание в циркуляционном и гидродинамическом режимах. Далее по переливному трубопроводу вода поступает на биологическую очистку в аэротенк-биореактор колонного типа 2 с чередованием оксидной и аноксидной зон (для проведения нитрификации, денитрификации и дефосфотации).

Насосы 6 предназначены для циркуляции и одновременного насыщения кислородом воздуха очищаемой воды оксиджетной системой аэрации 8 в аэротенках-биореакторах колонного типа. Очищаемая вода из аэротенка-биореактора 2 самотеком поступает в седиментатор 4, а затем в блок доочистки 5, оборудованный биологически активными модулями с прикрепленной микрофлорой, где обеспечивается отделение активного ила от сточной воды. Очищенная сточная вода из блока доочистки поступает на установку обеззараживания воды ультрафиолетовым облучением УОВ-50ДМ-3 (на рис. не указана).

Очищенная и обеззараженная вода сбрасывается в открытый водоем. Задержанный активный ил подается насосами 6 на переработку в кавитационный пастеризатор 3. Иловая вода от кавитационного пастеризатора отводится в усреднитель 1 под гидростатическим давлением. Обезвоживание стабилизированного осадка осуществляется барабанным сгустителем по безреагентной схеме. После прохождения сертификации возможно использование обезвоженного осадка на полях в качестве органического удобрения.

Стабилизация избыточного активного ила с биологической пленкой осуществляют в емкости кавитационного пастеризатора 3. За счет сочетания процессов интенсивной циркуляции с помощью насосов, насыщением кислородом воздуха с использованием оксиджетов 8, обеззараживания с применением активаторов 9, генерирующих кавитацию низкой интенсивности, происходит глубокая минерализация и дегельминтизация илового осадка.

Предложенная технологическая схема отличается компактным исполнением, низким энергопотреблением, высоким качеством очищенной сточной воды, не предполагает дополнительных затрат на коагулянты, флокулянты, дезинфектанты и другие реагенты. Использование кавитационного пастеризатора для обработки осадка позволяет применять полученный осадок в качестве органического удобрения.

### **Заключение**

Обеспечение экологической безопасности является важным условием повсеместного развития общества, поэтому необходимо осуществлять снижение негативного воздействия на окружающую среду от различных видов хозяйственно-экономической деятельности человека, включая ОГХ, такие как очистные сооружения биологической очистки сточных вод. Решение проблем экологической безопасности урбанизированных территорий базируется на глубоком анализе факторов, нарушающих экологическое равновесие и вызывающих негативные последствия в окружающей среде. В современных условиях предлагаемый авторами комплексный подход к выявлению и устранению негативных факторов, воздействующих на территории ОГХ, представляется весьма перспективным. Сформированный массив данных, содержащий информацию о негативных факторах окружающей среды от функциони-

рования ОГХ, позволит оптимизировать подбор природоохранных мероприятий. Внедрение и реализация подобных мер будут способствовать сбалансированному развитию городской среды и повышению качества жизни.

Предложенные в работе инженерные и технологические решения позволяют осуществить комплексный подход к повышению экологической безопасности при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод на основе использования метода кавитации низкой интенсивности, провести совершенствование технологии биоочистки, уменьшающее негативное воздействие атмосферных выбросов, жидких стоков и твердых отходов на окружающую среду.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ветрова Н. М., Вереха Т. В., Меннанов Э. Э., Судьева Д. В.* Экологическая безопасность урбанизированных рекреационных территорий в зоне влияния объектов транспортного строительства // Экономика строительства и природопользования. 2022. Т. 1-2. № 82-83. С. 145—151.
2. *Гагарина Е. С.* Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. Т. 1. № 62. С. 228—247.
3. *Герасимова Е. Б., Мельникова Л. А., Лосева А. В.* Экологическая безопасность строительства в моногородах // Строительные материалы и изделия. 2023. Т. 6. № 3. С. 59—78.
4. *Коровина В. С.* Природные источники загрязнения окружающей среды // Научно-исследовательский центр Technical Innovations. 2021. № 1. С. 22—25.
5. *Махмуди А.* Архитектурное построение многоэтажных жилых домов по правилу сочетаемости биосферной парадигмы: монография. СПб : Научное издание, 2022. 142 с.
6. *Плуготаренко Н.К., Гусакова Н. В., Долгополова А. Г.* Методы обеспечения экологической безопасности городов // Безопасность техногенных и природных систем. 2018. № 3-4. С. 94—102.
7. *Meric Y. S., Halil H.* Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using IoT techniques // Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 94. Iss. 4. 104567.
8. *Sharmilaa G., Ilango T.* Vehicular air pollution based on traffic density — A case study // Materials today: proceedings. 2022. Vol. 52. Iss. 3. Pp. 532—536.
9. *Li S., Hu J., Zhou L., Li Q.* A multiple case study on the cooperative governance model of treating environmental deterioration // Chinese Journal of Population, Resources and Environment. 2021. Vol. 19. Iss. 1. Pp. 56—64.
10. *Samarskaya N., Gurova O.* Investigation of the process of reducing air pollution when crushing gravel // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 281. 09021. DOI: 10.1051/e3sconf/202128109021.
11. *Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л.* Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 148—155.
12. How do disparate urbanization and climate change imprint on urban thermal variations? A comparison between two dynamic cities in Southeast Asia / C. T. Nguyen, A. Chidthaisong, A. Limsakul, P. Varnakovid, C. Ekkawatpanit, P. K. Diem, N. T. H. Diep // Sustainable Cities and Society. 2022. Vol. 82. 103882.
13. *Holloway T. G., Williams J. B., Ouelhadj D., Yang G.* Exploring the use of water resource recovery facility instrument data to visualise dynamic resilience to environmental stressors // Water Research. 2022. Vol. 221. Pp. 118711.
14. *Delgado-Enales I., Del Ser J., Molina-Costa P.* A framework to improve urban accessibility and environmental conditions in age-friendly cities using graph modeling and multi-objective optimization // Computers, Environment and Urban Systems. 2023. Vol. 102. 101966.
15. *Чурикова В. И., Голованчиков А. Б., Чичерина Г. В.* Учет экологического воздействия сероводорода на объекты городского хозяйства // Вестник Волгоградского государственного

архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 239—243.

16. *Hai N. T., Sheng-Jie Y., Ahmad H.-B., Huan-Ping C.* Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // *Water Research*. 2017. Vol. 120. Pp. 88—116.

17. *Волоник Г. И., Терехов Л. Д., Сошников Е. В., Стеблевский В. И.* Техническая эксплуатация коммунальных систем водоснабжения и водоотведения. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. 195 с.

18. *Пындак В. И., Новиков А. Е., Штена В. Н.* Оптимизация систем очистки органосодержащих сточных вод и обработки иловых осадков // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2017. № 5. С. 103—107.

19. *Yasser G. H., Marwa El-A., Mohamed F. S., Rehab K. M.* Cost estimation of synthesis and utilization of nano-adsorbents on the laboratory and industrial scales: A detailed review // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 875. Pp. 1626—29.

20. *Бондаренко М. Б.* Градостроительное зонирование как правовой инструмент обеспечения устойчивого развития населенных пунктов // *Новизна. Эксперимент. Традиции*. 2022. Т. 8. № 1. С. 8—14.

21. *Пирсол И.* Кавитация. М.: Мир, 1975. 95 с.

22. *Тихонова А. А., Чернова Ю. А., Владимцева И. В., Айрапетян М. А.* Предотвращение распространения дурно пахнущих веществ в очистных сооружениях // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 5. 6 с.

23. *Тихонова А. А., Чернова Ю. А., Владимцева И. В.* Применение кавитации низкой интенсивности для подавления патогенной микрофлоры в башенных сооружениях биологической очистки // *Естественные и технические науки*. 2016. № 5. С. 19—22.

24. *Булаев С. С., Привалова Н. М.* Совершенствование технологии очистки сточных вод консервного производства // *Научные труды КубГТУ*. 2018. № 11. С. 1—8.

25. *Тихонова А. А., Владимцева И. В.* Использование осадков сточных вод для рекультивации земель после их обработки ферментно-кавитационным методом // *Комплексные проблемы техногенной безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф.* 2015. Ч. II. С. 235—240.

© *Тихонова А. А., Владимцева И. В., Дементьева А. А., Катехлиев М. А., 2024*

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Тихонова А. А., Владимцева И. В., Дементьева А. А., Катехлиев М. А.* Комплексный подход к снижению негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод с использованием метода кавитации низкой интенсивности // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 2(95). С. 153—164. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_153.

*Об авторах:*

**Тихонова Асия Андреевна** — ассистент каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; [asiatikhonova@gmail.com](mailto:asiatikhonova@gmail.com)

**Владимцева Ирина Владимировна** — д-р биол. наук, проф., проф. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Дементьева Ангелина Андреевна** — магистрант каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Катехлиев Магамед Асилдарович** — магистрант каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Asia A. Tikhonova, Irina V. Vladimtseva, Angelina A. Dementieva,  
Magamed A. Katehliev**

*Volgograd State Technical University*

**AN INTEGRATED APPROACH TO REDUCING THE NEGATIVE IMPACT  
ON THE ENVIRONMENT DURING THE OPERATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER  
TREATMENT FACILITIES USING THE LOW-INTENSITY CAVITATION METHOD**

The results of the analysis of factors that violate the ecological balance and have negative consequences for the environment are presented. A comprehensive approach is proposed to improve environmental safety during the operation of biological treatment facilities using the low-intensity cavitation method in the technological process. Developed engineering and technological solutions make it possible to improve bio-purification technologies. As a result, the negative impact of atmospheric emissions, liquid effluents and solid waste on the environment is reduced during the operation of column-type aerotanks based on the use of the low-intensity cavitation method.

**Key words:** environmental safety, negative impact on the environment, biological wastewater treatment facilities, column-type aeration tanks, low-intensity cavitation.

*For citation:*

Tikhonova A. A., Vladimtseva I. V., Dementieva A. A., Katehliev M. A. [An integrated approach to reducing the negative impact on the environment during the operation of biological wastewater treatment facilities using the low-intensity cavitation method]. *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], 2024, iss. 2, pp. 153—164. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_153.

*About authors:*

**Asia A. Tikhonova** — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; [asiatikhonova@gmail.com](mailto:asiatikhonova@gmail.com)

**Irina V. Vladimtseva** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

**Angelina A. Dementieva** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

**Magamed A. Katehliev** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

УДК 504.054

**А. А. Тихонова, И. В. Владимцева, Н. В. Харланов, М. В. Соколов**

*Волгоградский государственный технический университет*

**УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЩЕНИЕМ С ИЛОВЫМИ ОСАДКАМИ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА:  
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Описаны наиболее распространенные методы переработки иловых осадков, преимущества и недостатки каждой из рассмотренных технологий. Предлагаются инженерные и технологические решения на основе использования метода кавитации низкой интенсивности, которые позволяют уменьшить негативное воздействие твердых отходов на окружающую среду. Особое внимание уделено проблемам экологической безопасности способов управления иловыми осадками и возможностям использования новых альтернативных методов.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, негативное воздействие на окружающую среду, сооружения биологической очистки сточных вод, управление отходами, кавитация низкой интенсивности.

**Введение**

По распоряжению Правительства РФ в январе 2018 г. утверждена «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления до 2030 года». В этом документе устанавливаются основные направления развития указанной отрасли<sup>1</sup>. Для внедрения передовых технологий и новейшего оборудования необходимо создание промышленной инфраструктуры как основополагающего фундамента развития элементов системы организации и управления. Данный механизм позволит достичь наиболее рационального с экологической, экономической и технической точек зрения использования вторичных ресурсов в хозяйственном обороте. Следует отметить, что весьма важной составляющей данного процесса являются различные программы технического обновления и совершенствования устаревшей материальной базы на предприятиях, осуществляющих деятельность в сфере коммунальных услуг, строительных работ и др., которые могут являться как источниками, так и рециклерами различных видов опасных отходов, взаимодействующих между собой [1—3].

Широко известным производителем опасных отходов являются очистные сооружения городских хозяйственно-бытовых сточных вод, которые находятся как в малых, так и крупных населенных пунктах. Для достижения наибольшей результативности распоряжения этими отходами весьма значимыми направлениями являются рационализация и технологическое обновление систем и объектов, связанных с очисткой сточных вод и образованием опасных отходов [4—6].

---

<sup>1</sup> Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 25.01.2018 N 84-п. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696?ysclid=lxbev0dzoa645039904>.

Процесс очистки бытовых и промышленных сточных вод связан с формированием грандиозных объемов отходов. Согласно данным статистики, образуется более 6 млн т отходов ежегодно. Следует отметить, что переработка образующихся отходов может решить большую часть проблем, связанных с их утилизацией и размещением, т. к. происходит трансформация отходов во вторичный ресурс, востребованный в разнообразных сферах экономики [3, 6].

Наиболее распространенные группы отходов, возникающие при очистке хозяйственно-фекальных сточных вод на предприятиях городского хозяйства, являющиеся источником вторичных ресурсов для различных целей использования в отраслях экономики приведены в таблице<sup>2</sup>.

Приведенные данные говорят о разнообразии видов иловых и иных осадков биологических и механических сооружений водоочистки, которые, являясь отходами, создают экологическую проблему. Обезвреживание и переработка новых и накопленных отходов требует создания технологий и способов достаточно эффективных, чтобы получить безопасное и ценное вторичное сырье.

Из открытых источников известно, что в России при очистке хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод образуется порядка 5,633 млн т в год отходов, из них утилизировано 2,19 млн т (направления утилизации не уточняются), 0,977 млн т обезврежено (технологии и способы не указаны, статистика по форме 2-ТП (отходы) [2].

Следует отметить, что по имеющимся статистическим данным анализ ситуации использования отходов водоочистки после утилизации и обезвреживания весьма проблематичен. Нет массива данных по вовлечению в хозяйственный оборот, по экономическому эффекту от использования обезвреженных и утилизированных отходов. В перечень наиболее известных и широко применяемых на сегодняшний день технологий обработки осадков сточных вод входят [7—9]:

- фильтрация — использование вибровакуум-фильтров и фильтр-прессов;
- сушка — применение физических воздействий (вакуума, центробежных сил, высоких температур);
- уплотнение (флотационное, гравитационное);
- размещение на иловых и песковых картах;
- стабилизация (анаэробная, аэробная).

Следует отметить, что наиболее распространенные методы переработки осадков, такие как метановое сбраживание, складирование на иловых картах, являются низкопродуктивными и экологически рискованными, требуют для осуществления процесса огромных земельных площадей, расположенных обычно на территории или в окрестностях населенных пунктов, где земля особенно ценна. Так же для обезвреживания отходов в метантенках требуется длительное время, высокие строительные и эксплуатационные затраты [10, 11].

<sup>2</sup> Банк данных об отходах, объектах их переработки и размещения.  
URL: <https://db.wastebase.ru/wastebase.aspx>.

*Наиболее распространенные группы и виды отходов,  
 возникающие при очистке сточных вод на предприятиях городского хозяйства*

Код по ФККО	Наименование отходов
7 22 200 01 39 4	Ил избыточный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 200 02 39 5	Ил стабилизированный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 201 11 39 4	Ил избыточный биологических очистных сооружений в смеси с осадком механической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 221 11 39 4	Осадок биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, обезвоженный методом естественной сушки, малоопасный
7 22 221 12 39 5	Осадок биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод обезвоженный
7 22 231 11 33 5	Осадок биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод обезвоженный с применением флокулянтов, практически неопасный
7 22 399 11 39 4	Отходы (осадки) после механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод
7 22 431 12 39 5	Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод аэробно стабилизированная, обезвоженная, практически неопасная
7 22 431 22 40 5	Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, выдержанная на площадках стабилизации
7 22 441 11 49 5	Смесь осадков механической и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, подвергнутая термосушке
7 22 442 13 39 4	Смесь осадков флотационной и биологической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, обезвоженная с применением фильтр-пресса
7 22 125 11 39 4	Осадки при механической очистке хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, обезвоженные малоопасные
7 22 125 21 39 4	Осадки механической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод анаэробно сброженные и обеззараженные хлорной известью, малоопасные
7 22 151 11 33 4	Смесь осадков при физико-химической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод
7 22 155 11 39 4	Осадок электрохемосорбционной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод
7 22 161 11 33 4	Осадок обработки хозяйственно-бытовых сточных вод известковым молоком, содержащий тяжелые металлы менее 5 %

Широко известны и распространены ряд технологий высокотемпературной деструкции с целью обезвреживания отходов, полученных от очистных сооружений: пиролиз, газификация, плазменное горение, термическое обезвреживание (сжигание). Однако эти методы требуют дорогостоящего технологического оборудования, значительных затрат на проектные работы, решения вопроса утилизации золы, получаемой в виде побочного продукта, которая зачастую является токсичной и составляет до четверти сжигаемых отходов [12—14].

Активно применяемым и широко известным способом обращения с иловыми осадками городских очистных сооружений служит механическое обезвоживание ленточными фильтр-прессами, шнековыми аппаратами, иными устройствами с высокой степенью механического обезвоживания осадка, после которого требуется размещение на специальные площадки для хранения. В результате загрязняются природные среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, растительность. Из хозяйственного оборота выходят значительные площади, что также имеет негативный экономический результат [14—16].

ГОСТ Р 54534—2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод» устанавливает требования к осадкам сточных вод и определяет методы их обработки и утилизации<sup>3</sup>. В соответствии с этим стандартом, основными макрокомпонентами осадков сточных вод являются металлы, которые могут присутствовать в осадках сточных вод в виде солей или комплексных соединений оксидов железа, алюминия, кальция. Калий, азот, фосфор и кремний могут присутствовать в осадках в виде азотистых и фосфористых соединений. Присутствуют также микро- и макроэлементы, которые являются основными компонентами природных ископаемых: песка, глины и минеральных пород; различные органические вещества. Эти компоненты осадков сточных вод важны для определения их характеристик и разработки методов обработки и утилизации в соответствии с требованиями стандарта. Использование обработанных иловых осадков обладает значительным потенциалом, что позволяет предлагать их дальнейшее использование в качестве компонентов удобрений [15].

#### **Материалы и методы**

При осуществлении научного исследования авторы прибегли к использованию разнообразных методологических подходов, включая теоретико-методологический анализ литературных источников, эколого-экономический анализ, а также эмпирические методы исследования. Кроме того, проводились описательные и сравнительно-сопоставительные анализы, направленные на изучение процессов, происходящих в технологических установках, выявление закономерностей и взаимосвязей для более глубокого понимания данных процессов.

#### **Результаты исследования**

Весьма перспективным методом решения ряда задач, связанных с утилизацией иловых осадков станций биологической очистки, может стать использование метода кавитации низкой интенсивности.

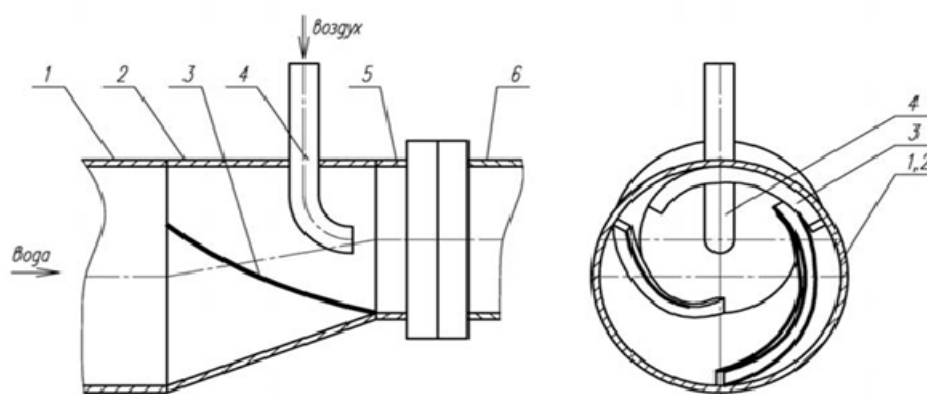
Кавитация — физический процесс, при инициации которого образуются и схлопываются кавитационные каверны, в результате чего происходит разрушение живых и неживых объектов. Значительное снижение уровня кавитации открывает перспективы использования данного процесса в качестве эффективного средства для избирательного подавления патогенной микрофлоры, а также в качестве средства профилактики деструкции твердых материалов, в т. ч. лопастей гидравлических машин [16]. В процессе воздействия кавитации низкой интенсивности процесс перемещения среды характеризуется комбиниро-

<sup>3</sup> ГОСТ Р 54534—2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092647?ysclid=lxbf0btm833725817>.



ваным поступательным и вращательным движением с высокой скоростью, обусловленным использованием направляющих потоков в виде спиралей Архимеда. Эти потоки обеспечивают необходимое направление движения среды, а также создают дискретный пленочный режим для эффективного разделения жидкостей. В результате этого процесса находящиеся в центрах кавитации крупные включения, например, яйца и личинки гельминтов, подвергаются мгновенному разрушению [17, 18].

Главным устройством для осуществления предлагаемого метода служит кавитационный пастеризатор, генерирующий кавитацию низкой интенсивности. Данное устройство проводит внутри своей операционной зоны интенсивные физико-химические процессы, способствуя ускорению окислительных, восстановительных и замещающих реакций в десятки раз по сравнению со стандартными комплексами и оборудованием водоочистки. На рисунке приведено устройство для обработки илового осадка с применением генерирования кавитации низкой интенсивности.



Устройство для обработки илового осадка: 1 — подающий патрубок; 2 — эксцентрический участок; 3 — спираль Архимеда; 4 — трубка Пито; 5 — разгонный патрубок; 6 — насос

В ходе обработки осадков достигается разрыв клеточных мембран микроскопических паразитов, окисление поллютантов, осуществляется минерализация загрязняющих веществ с образованием малотоксичных и нетоксичных соединений, что позволяет использовать обработанные иловые осадки в рекультивации и даже в сельском хозяйстве.

Применение данной технологии в реакторах в вертикальном исполнении, например, в колонных биореакторах, значительно снижает площади земельных участков под сооружения биоочистки, существенно уменьшает строительные расходы на их возведение. Установка обработки иловых осадков данного типа подходит для производительности  $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ , является энергосберегающей ( $0,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^3$  стоков), требует для своего размещения  $35\text{...}55 \text{ м}^2$ , т. е. на порядок меньшую площадь, чем классический комплекс сооружений [17].

Предлагаемая технология позволит осуществить обеззараживание и очистку сточных вод с соответствием требованиям ГН 2.1.5.1315—03 «Предель-

но допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», ГОСТ Р 17.4.3.07—2001, СанПиН 2.1.5.980—00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»<sup>4</sup>. При этом происходит эффективное уничтожение патогенной микрофлоры и обеззараживание активного ила (подтверждено сертификатом соответствия № 0053274 от 12.05.2015, выданным на основании протокола испытаний Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» № 1743 от 03.03.2015 г).

Полученный в результате кавитационной обработки осадок имеет класс опасности 5 и является экологически безопасным продуктом, пригодным для восстановления сельскохозяйственных истощенных земель [19].

Наиболее важными свойствами предлагаемой технологии, характеризующими ее достоинства и преимущества, являются экологическая безопасность, экономическая эффективность и малая ресурсоемкость. Предотвращение экологического вреда вследствие полного сокращения опасных отходов водоочистки (иловых осадков) — экологичная и ресурсосберегающая технология на объектах городского хозяйства.

### **Заключение**

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что обеспечение экологической безопасности окружающей среды является важным условием развития общества, поэтому необходимо максимально снижать негативное воздействие от различных видов хозяйственно-экономической деятельности человека, включая объекты городского хозяйства, такие как очистные сооружения биологической очистки сточных вод.

Особое внимание экологов заслуживает проблема утилизации иловых осадков, содержащих патогенные бактерии, яйца и личинки гельминтов, а также опасные химические загрязнители, в частности, тяжелые металлы [20]. Предложенные в данной работе инженерные и технологические решения на основе использования метода кавитации низкой интенсивности в технологии обезвреживания иловых осадков позволяют уменьшить негативное воздействие твердых отходов сооружений биологической очистки сточных вод на окружающую среду.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Цховребов Э. С. Стратегическое прогнозирование: развитие промышленности по переработке отходов // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 7. С. 64—73.
2. Цховребов Э. С. Эколого-экономические аспекты планирования размещения и проектирования промышленных объектов по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 11(122). С. 1326—1340.

---

<sup>4</sup> Н 2.1.5.1315—03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. URL: <https://www.law.ru/npd/doc/docid/901862249/modid/99>.

ГОСТ Р 17.4.3.07—2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017708?ysclid=lxbgclr15o613762937>.

СанПиН 2.1.5.980—00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006938?ysclid=lxbgdfddts919884063>.

3. Жуков В. В. Формирование отходоперерабатывающей индустрии как отдельной отрасли в экономике России — неотложная необходимость // Экологический вестник России. 2011. № 4. С. 22—23.
4. Алексеев Е. В. О защите водных ресурсов на урбанизируемых территориях. Роль автономных очистных сооружений // Экология урбанизованных территорий. 2018. № 3. С. 54—59.
5. Путьрев Е. И. Системный анализ сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 3. С. 18—23.
6. Salman M. Y., Hasar H. Review on environmental aspects in smart city concept: Water, waste, air pollution and transportation smart applications using // IoT techniques. Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 94. Iss. 4. Pp. 104567.
7. Губанов Л. Н., Бояркин Д. В. Особенности обезвреживания осадков сточных вод малых населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. С. 508—511.
8. Курмангалиева А. Р., Набиев Р. А. Модернизация технологии переработки осадка на канализационных очистных сооружениях г. Астрахани // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 113—122.
9. De Haan J., Lundstrom S., Sturm J.-E. Market-Oriented Institutions and Policies and Economic Growth: A Critical Survey // Journal of Economic Surveys. 2006. Vol. 20. Iss. 2. Pp. 157—191.
10. Vallero D. A., Brasier C. Sustainable Design: The Science of Sustainability and Green Engineering. John Wiley & Sons, Inc, 2008. 333 p.
11. Waste management and recycling in Finland / K. Berninger, L. Heikkilä, Z. Kolev, M. Orjala, T. Teräväinen // Conference Presentation. 2010. 173 p.
12. Murray R. Zero waste // Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.
13. Elgizawy S. M., El-Haggag S. M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. Pp. 1306—1313.
14. Технико-экономические вопросы создания экотехнопарков в сфере деятельности по обработке и утилизации отходов очистки сточных вод / Э. С. Цховребов, А. С. Шевченко, В. В. Жуков, Е. Г. Величко, С. В. Переведенцев, С. И. Шканов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 8. С. 1057—1073.
15. Zaman A. U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines // Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 91. Pp. 12—25.
16. Пирсол И. Кавитация. М.: Мир, 1975. 95 с.
17. Тихонова А. А., Чернова Ю. А., Владимцева И. В. Применение кавитации низкой интенсивности для подавления патогенной микрофлоры в башенных сооружениях биологической очистки // Естественные и технические науки. 2016. № 5. С. 19—22.
18. Тихонова А. А., Владимцева И. В. Использование осадков сточных вод для рекультивации земель после их обработки ферментно-кавитационным методом // Комплексные проблемы техногенной безопасности: матер. междунар. науч.-практ. конф. Ч. II. 2015. С. 235—240.
19. Тихонова А. А., Владимцева И. В. Ресурсосберегающая технология биологической очистки сточных вод с переработкой илового осадка ферментно-кавитационным методом // Комплексные проблемы техногенной безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф. 2017. Ч. II. С. 162 — 165.
20. Nezdoyminov V., Mogukalo A., Zagoruiko T. Possibility of using excessive active sludge as organomineral fertilizer // Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2021. Vol. 3. Iss. 149. Pp. 56—60.

© Тихонова А. А., Владимцева И. В., Харланов Н. В., Соколов М. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Тихонова А. А., Владимцева И. В., Харланов Н. В., Соколов М. В. Управление обращением с иловыми осадками для обеспечения экологической безопасности городского хозяйства: основные проблемы и пути решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 165—172. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_165.

*Об авторах:*

**Тихонова Асия Андреевна** — ассистент каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; [asiatikhonova@gmail.com](mailto:asiatikhonova@gmail.com)

**Владимцева Ирина Владимировна** — д-р биол. наук, проф., проф. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Харланов Никита Владимирович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Соколов Максим Викторович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Asia A. Tikhonova, Irina V. Vladimtseva, Nikita V. Kharlanov, Maksim V. Sokolov**

**Volgograd State Technical University**

**MANAGEMENT OF SLUDGE MANAGEMENT TO ENSURE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE URBAN ECONOMY: THE MAIN PROBLEMS AND SOLUTIONS**

The most common methods of sludge processing, advantages and disadvantages of each of the considered technologies are described. Engineering and technological solutions based on the use of the low-intensity cavitation method are proposed, which make it possible to reduce the negative impact of solid waste on the environment. Special attention is paid to the problems of environmental safety of sludge management methods and the possibilities of using new alternative methods.

**Key words:** environmental safety, negative impact on the environment, biological wastewater treatment facilities, waste management, low-intensity cavitation.

*For citation:*

Tikhonova A. A., Vladimtseva I. V., Kharlanov N. V., Sokolov M. V. [Management of sludge management to ensure the environmental safety of the urban economy: the main problems and solutions]. *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], 2024, iss. 2, pp. 165—172. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_165.

*About authors:*

**Asia A. Tikhonova** — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; [asiatikhonova@gmail.com](mailto:asiatikhonova@gmail.com)

**Irina V. Vladimtseva** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

**Nikita V. Kharlanov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

**Maksim V. Sokolov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

УДК 628.316.13

**Ю. Ю. Юрьев, Д. А. Жиборкин, С. Ю. Жумаев, А. А. Куцуба, В. Д. Самарцев,  
Е. В. Тулякова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Исследованы технологические аспекты повышения эффективности очистки сточных вод с использованием материалов и вторичного сырья, полученных в результате производства синтетических полимеров. Основное внимание уделено разработке технологического процесса на основе применения сорбентов из отходов производства алюминия и переработки нефти для улучшения качества питьевой воды и очистки сточных вод. Исследована структура твердых материалов и их свойства, зависящие от взаимного расположения атомов в кристаллической решетке. Выявлено, что свойства материалов значительно изменяются в зависимости от количества атомов в решетке, что имеет важное значение для разработки новых материалов для эффективной очистки сточных вод. Работа представляет интерес для специалистов в области экологии, химической технологии и водоочистки

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, синтетические полимеры, наноматериалы, сорбенты, вторичное сырье, алюминий, нефть, структура материалов, свойства материалов, экология, химическая технология.

### **Введение**

В настоящее время проблема очистки сточных вод (СВ) от различных загрязнений становится все более актуальной. Предлагаемое исследование направлено на поиск путей более высокой степени очистки СВ.

Целью работы является изучение возможности использования ряда вторичных материалов в разработке новых методов получения чистой воды. Благодаря уникальным свойствам наноматериалов применение их в процессе очистки СВ открывает новые перспективы, позволяющие эффективно удалять такие загрязнители как нефтепродукты, хлорорганические соединения, тяжелые металлы, поверхностно-активные вещества и др.

Вторичные материалы, полученные в результате производства синтетических полимеров, представляют ценный ресурс для создания новых сорбентов. В рамках исследования разработан технологический процесс, основанный на применении сорбентов, полученных из отходов производства алюминия и переработки нефти.

Передовые методы изучения структуры твердых материалов и их свойств, включая анализ взаимного расположения атомов в кристаллической решетке, позволили оптимизировать состав сорбентов, повысить их адсорбционную способность и разработать новые материалы для очистки СВ.

За счет термообработки и обработки хлорной медью трансформирована палыгорскит-монтмориллонитовая глина [1—3] в мощный сорбент, обладающий высокой адсорбционной способностью к хлорпроизводным органическим веществам и повышенной сорбционной емкостью по отношению к катионно-активным и неионогенным ПАВ.

### Основная часть

В рамках данного исследования разработан технологический процесс очистки СВ от разнообразных загрязнений, улучшающий качества получаемой воды, делая ее пригодной для различных целей. Ключевым аспектом исследования является использование нефтяных отходов в качестве основы для сорбционного материала.

Нефтяные отходы представляют собой комплексные многокомпонентные системы, состоящие из мелкодисперсных частиц серого цвета с высокой удельной поверхностью [4, 5]. Анализ химического состава, структуры и потенциальных свойств нефтяных отходов показал, что они содержат различные оксиды, в основном оксиды кремния и алюминия. Это делает их подходящими для использования в качестве основы для сорбционного материала, способного эффективно очищать СВ от нефтяных и масляных загрязнений [6—9].

Результаты исследования имеют важное значение как для развития новых методов очистки СВ с использованием устойчивых и эффективных материалов, основанных на вторичных ресурсах, так и для использования этих материалов в промышленных и коммунальных системах очистки воды.

Использование нефтяных отходов в качестве сорбента:

- позволяет сделать очистку СВ более экологичной и экономичной;
- приводит к значительным улучшениям в области охраны окружающей среды;
- обеспечивает доступ к чистой воде для населения.

Проведены комплексные физико-химические исследования для определения структурных и функциональных свойств нефтяного отхода и разработки специальных методов и подходов к его оптимизации. Полученные данные (табл. 1) открывают новые перспективы для использования нефтяных отходов в эффективных и экологически безопасных методах очистки СВ и снижения негативного воздействия промышленных выбросов на экосистему [9, 10]. В таблице 2 представлены физико-технические показатели фильтроперлита<sup>1</sup>.

В рамках исследования оптимизирована технология получения сорбента из нефтеотходов с целью повышения его эффективности для очистки СВ от нефтепродуктов.

В качестве модификатора на наноуровне выбран пенополистирол [11]. Его преимущества обусловлены ориентированной структурой и наличием радикала —С<sub>6</sub>Н<sub>5</sub> с выраженной гидрофобностью.

Процесс модификации состоит из следующих этапов:

- 1) растворение высокомолекулярного пенополистирола в ацетоне или смеси ацетона с метилтретбутиловым эфиром;
- 2) добавление при перемешивании к полученному раствору полимера отходов нефтепереработки;
- 3) нагревание смеси до определенной температуры с отгонкой растворителя под вакуумом;
- 4) охлаждение и сушка с образованием твердой смеси;
- 5) измельчение смеси для получения мелкодисперсного порошка.

<sup>1</sup> ГОСТ 30566—98. Порошок перлитовый фильтровальный. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025280?ysclid=lxdac8i6hj942598497>.

Преимущества такой модификации включают:

- повышение сорбционной емкости;
- улучшение гидрофобности;
- регулирование свойств сорбента;
- расширение диапазона работы фильтров.

Таблица 1

*Физико-механические свойства отхода нефтепереработки  
до и после тепловой обработки*

Наименование показателя	Отход (без сушки)	Отход после высушивания при 25...30 °С в течение 600 мин	Отход после прокаливании при 100...120 °С в течение 160...200 мин	Отход после прокаливании при 500...600 °С в течение 200 мин
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	440...460	420	360	90...160
Размер частиц, мм	0...0,5	0...0,5	0...0,5	0...0,5
Массовая доля всплывающих в воде частиц, %	45...48	51...55	61...66	91...96
Массовая доля влаги, %, не более	1,0	1,0	1,0	1,0
Пористость, %	45...55	50...55	53...60	87...91
Нефтеемкость, кг/кг	0,9	1,3	1,6	5,8

Таблица 2

*Физико-технические показатели фильтроперлита*

Наименование показателя	Группа		
	А	Б	В
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	80...120	121...160	161...180
Массовая доля всплывающих в воде частиц, %, не более	11,0	12,0	15,0
Массовая доля влаги, %, не более	0,4	1,0	1,0
Массовая доля сухого остатка водной вытяжки после выпаривания, %, не более	0,5	1,0	1,0
Фильтрационная проницаемость по воде, дарси, не менее	1,0	0,5	0,5
Массовая доля остатка на сите с размером ячеек 0,14 мм, %, не более:			
мелкий зерновой состав		5	
крупный зерновой состав		15	

Исследования показали, что оптимальная концентрация полимера составляет 10...35 % массы. При этом дисперсность частиц существенно влияет на эффективность сорбента [12—16].

Полученный материал эффективно очищает СВ от нефтепродуктов, обладает разносторонними сорбционными свойствами и может быть использован в технологиях очистки воды.

Результаты исследования (рис. 1) подтверждают потенциал материала для очистки воды и открывают новые возможности для разработки сорбентов с улучшенными свойствами.

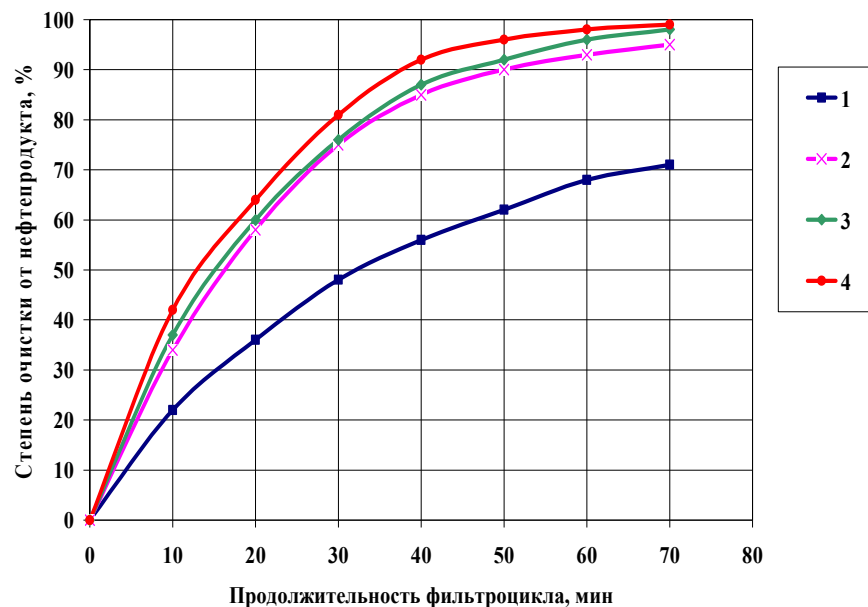


Рис. 1. Степень очистки воды от нефтепродуктов (%) после прохождения через слой фильтрующего материала (начальное содержание нефтепродуктов в воде — 100...150 мг/л); концентрация полимера в модифицирующем растворе, % масс: 1 — 0; 2 — 10; 3 — 20; 4 — 40

В результате исследования выяснено, что в процессе фильтрования при понижении температуры повышается эффективность удаления нефтепродуктов (рис. 2). Это можно объяснить повышением вязкости воды при низкой температуре, что способствует лучшей удерживающей способности для нефтепродуктов в процессе фильтрования. Таким образом, более высокая вязкость воды при низких температурах способствует более эффективному задерживанию и удалению нефтепродуктов и других загрязнений в процессе фильтрования.

В рамках данного исследования разработана математическая модель процесса очистки воды от нефтепродуктов с применением алюмосиликатного сорбента. При разработке и оптимизации сорбента на основе нефтеотходов создана статистическая модель для прогнозирования эффективности очистки воды от нефтепродуктов. Модель представляет собой уравнение, описывающее зависимость конечной концентрации нефтепродуктов после очистки ( $C$ ) от различных параметров, включая начальную концентрацию нефтепродуктов в воде ( $C_0$ ), удельный расход воды ( $V$ ) и высоту фильтрующего слоя ( $H$ ):

$$C = 0,91 \cdot (0,056 \cdot C_0)(0,32 - 0,28V + 0,13V^2 - 0,02V^3 + 0,001V^4)(185,55H - 1,088).$$



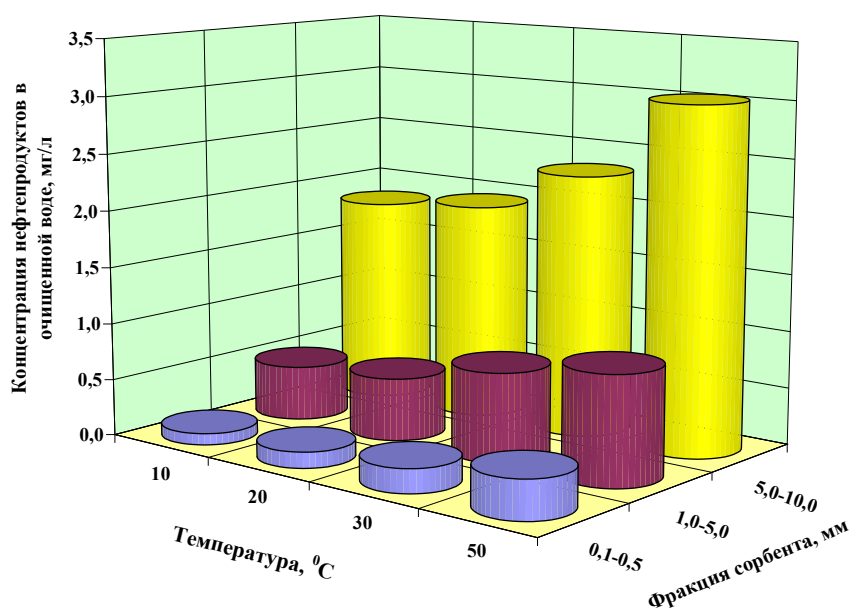


Рис. 2. Зависимость концентрации нефтепродуктов в отфильтрованной воде от температуры при использовании различных фракций сорбента

## Выводы

Разработанная модель имеет важное значение для прогнозирования эффективности процесса очистки воды от нефтепродуктов и определения его оптимальных параметров. Предложенная модель может применяться при разработке и эксплуатации систем очистки воды на промышленных предприятиях, включая нефтеперерабатывающие заводы, автомойки и другие объекты, где возникают проблемы загрязнения воды нефтепродуктами.

Использование нового сорбента и разработанной модели позволит существенно улучшить технологию очистки СВ, повысить эффективность работы промышленных фильтров и степень очистки воды от нефтепродуктов, сократить негативное воздействие на окружающую среду и принести экономическую выгоду благодаря использованию доступных материалов и простоте реализации.

Лабораторные исследования по изучению сорбционных свойств алюмосиликатного сорбента, а также испытания его в пилотных установках подтвердили высокую эффективность при очистке воды от нефтепродуктов и экономическую целесообразность использования новой технологии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. Л. : Химия, 1987. 204 с.
2. Marwa El-A., Mohamed F. S., Rehab K. M. Cost estimation of synthesis and utilization of nano-adsorbents on the laboratory and industrial scales: A detailed review // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 875. Pp. 1626—29.
3. Косулина Т. П., Кононенко Е. А., Гамарский Д. М., Чернушина А. Н. Способ утилизации нефтесодержащих отходов: пат. 2354670, РФ. № 2008102433/04. 10.05.2009.
4. Silva J. A. Water Supply and Wastewater Treatment and Reuse in Future Cities: A Systematic Literature Review // Water. 2023. Vol. 15. Iss. 17. Pp. 3064.

5. Крылов И. О., Ануфриев С. И., Исаев В. И. Установка доочистки сточных и ливневых вод от нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2002. № 6. С. 17—20.
6. Лебедев И. А., Сомин В. А., Кондратьев Е. В., Комарова Л. Ф. Интенсификация очистки воды от взвесей методом фильтрации // Инженерная экология. 2006. № 2. С. 20—27.
7. Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications / I. Michael-Kordatou, C. Michael, X. Duan, X. He, D. D. Dionysiou, M. A. Mills, D. Fatta-Kassinos // Water Research. 2015. Vol. 77. Pp. 213—248.
8. Привалова Н. М., Двадненко М. В., Марочкина С. Г., Лявина Е. В. Магнитожидкостная очистка промышленных нефтезагрязненных сточных вод // Успехи современного естествознания. 2009. № 7. С. 151—152.
9. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л. : Химия, 1977. 463 с.
10. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. Л. : Химия, 1982. 168 с.
11. Optimization of an electrocoagulation-flotation system for domestic wastewater treatment and reuse / G. H. Bracher, E. Carissimi, D. B. Wolff, C. Graepin, A. P. Hubner // Environmental Technology. 2021. Vol. 42. Pp. 2669—2679.
12. Москвичева Е. В. Использование нефтеотхода в технологии очистки сточных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Технические науки. 2006. Вып. 6(20). С. 133—136.
13. Очистка промышленных сточных вод с использованием многоцелевых инженерно-технических устройств / Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, И. М. Шевцова, В. С. Телятников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 61—72.
14. Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина, Т. А. Кузьмина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 34(53). С. 114—120.
15. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview / L. A. Chuah, T. Shean, Y. Choong, Z. Ngaini, M. Nourouzi // Separat. Purificat. Technology. 2013. Vol. 113. Pp. 51—63.
16. Хаскельберг М. Б., Шиян Л. Н., Корнев Я. И. Повышение эффективности удаления нефтепродуктов из сточных вод // Вестник Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 3. С. 32—35.

© Юрьев Ю. Ю., Жиборкин Д. А., Жумаев С. Ю., Куцуба А. А., Самарцев В. Д., Тулякова Е. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Использование отходов синтетических полимеров для очистки сточных вод / Ю. Ю. Юрьев, Д. А. Жиборкин, С. Ю. Жумаев, А. А. Куцуба, В. Д. Самарцев, Е. В. Тулякова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 173—179. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_173.

Об авторах:

**Юрьев Юрий Юрьевич** — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv\_vgasu@mail.ru

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

**Жумаев Сергей Юрьевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 11

**Куцуба Александр Андреевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Самарцев Василий Дмитриевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Тулякова Екатерина Владимировна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Yurii Yu. Yur'ev, Denis A. Zhiborkin, Sergey Yu. Zhumaev, Alexandr A. Kutsuba, Vasily D. Samartsev, Ekaterina V. Tulyakova**

*Volgograd State Technical University*

## USE OF WASTE SYNTHETIC POLYMERS FOR WASTEWATER TREATMENT

This scientific work examines the technological aspects of increasing the efficiency of wastewater treatment using materials and secondary raw materials obtained from the production of synthetic polymers. The main attention is paid to the development of a technological process based on the use of sorbents from waste from aluminum production and oil refining to improve the quality of drinking water and wastewater treatment. The structure of solid materials and their properties, depending on the mutual arrangement of atoms in the crystal lattice, have been studied. It was revealed that the properties of materials vary significantly depending on the number of atoms in the lattice, which is important for the development of new materials for effective wastewater treatment. The work is of interest to specialists in the field of ecology, chemical technology and water treatment.

**Key words:** wastewater treatment, synthetic polymers, nanomaterials, sorbents, secondary raw materials, aluminum, oil, structure of materials, properties of materials, ecology, chemical technology.

*For citation:*

Yur'ev Yu. Yu., Zhiborkin D. A., Zhumaev S. Yu., Kutsuba A. A., Samartsev V. D., Tulyakova E. V. [Use of waste synthetic polymers for wastewater treatment]. *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], 2024, iss. 2, pp. 173—179. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_173.

*About authors:*

**Yurii Yu. Yur'ev** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv\_vgasu@mail.ru

**Denis A. Zhiborkin** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Sergey Yu. Zhumaev** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Alexandr A. Kutsuba** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Vasily D. Samartsev** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Ekaterina V. Tulyakova** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 725.9

**И. В. Клименко**

*Московский архитектурный институт*

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ПРОСТРАНСТВ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ ПОВОЛЖЬЯ**

Статья посвящена актуальной теме развития прибрежных зон на примере крупнейших городов Поволжья. В частности, рассматривается архитектурно-градостроительный процесс трансформации территорий вдоль Волги из дореволюционных хозяйственно-индустриальных районов в благоустроенные рекреационные пространства XXI в. Проводится анализ мирового опыта освоения прибрежных зон, на основе которого формулируются основные принципы проектирования современных набережных. В заключение прогнозируются возможные пути дальнейшего развития прибрежных территорий крупнейших городов Поволжья, с учетом природных и антропогенных факторов, таких как перепады рельефа, паводки, существующая транспортная инфраструктура и т. д., характерных для этого региона.

**Ключевые слова:** эволюция архитектурно-градостроительной организации прибрежных зон, закономерности развития набережных, проектирование прибрежных пространств городов Поволжья.

### **Введение**

Прибрежные территории являются наиболее ценными участками городской среды, заключающими в себе значительный экономический потенциал. Зачастую набережные становятся туристической достопримечательностью, привлекая большое количество посетителей.

Развитие прибрежных территорий является глобальным трендом, который позволяет создать новые точки притяжения, повысить капитализацию прилегающего городского пространства.

В Российской Федерации обустройство прибрежных территорий является национальным проектом, который реализуется с 2017 г. Актуальность рассматриваемой темы подтверждает и существование ежегодных архитектурных фестивалей, таких как «Моя река», «Экоберег» и др.

Волжский регион является одним из наиболее быстро развивающихся и густонаселенных. Вдоль Волги расположены четыре города с населением более 1 млн чел. — Нижний Новгород, Казань, Самара, Волгоград. Поэтому здесь особенно острой становится проблема развития прибрежных территорий. Данная статья посвящена рассмотрению вопросов исторического формирования прибрежных территорий, современного состояния набережных крупнейших городов Поволжья, а также прогнозирования основных путей дальнейшего развития данных территорий на основе анализа мирового опыта.

### **Исторический генезис развития прибрежных территорий вдоль Волги**

Если рассматривать, как использовались прибрежные территории в городах Поволжья в разные исторические периоды, то можно отметить, что рекреационные набережные вдоль уреза воды отсутствовали вплоть до начала XX в. Территория, примыкающая непосредственно к воде, служила для размещения портово-промышленной инфраструктуры — причалов, складов, дебаркадеров и т. д., поскольку Волга использовалась для сплава вырублен-

ного леса, ловли рыбы и судоходства [1]. Таким образом, если классифицировать прибрежные территории в данный исторический период согласно выполняемой функции, то их можно отнести к коммунально-хозяйственному назначению.

В первой половине XIX в. в крупнейших волжских городах появляются первые набережные, которые выполняют рекреационную и видовую функции, а не транспортную. Происходит это вследствие влияния природных факторов, присущих местности — выраженному рельефу, а также периоду сезонного половодья. По этой причине первые благоустроенные набережные в волжских городах возникают на высоких отметках рельефа и на значительном удалении от уреза воды. Например, Верхневолжская набережная в Нижнем Новгороде, набережная в Ярославле, Венец в Симбирске (совр. Ульяновск), Верхняя набережная в центральной части Костромы [2].

Строительство набережных, представляющих собой протяженные общественные пространства непосредственно возле воды началось в 1930-е гг. в Куйбышеве (совр. Самара). Согласно разработанному проекту благоустраивались нижняя и верхняя террасы, причем верхняя терраса задумывалась как парк культуры и отдыха, который был построен в 1948 г. как парк им. М. Горького [3].

Великая Отечественная война прервала строительство набережных вдоль Волги, которое возобновилось в конце 1940-х гг. В послевоенный период до 1960-х гг. развитию прибрежных зон способствовало возникновение речных вокзалов. Строительству данного типа сооружений придавалось большое значение во время выполнения в СССР первых пятилетних планов, т. к. происходил рост пассажирооборота речного транспорта. В период закрытия навигации речные вокзалы использовались как культурные центры: киноконцертные залы, зимние помещения клубов водников, спортзалы и др. [4]. Таким образом, речные вокзалы можно назвать первыми многофункциональными общественными зданиями, которые появились в прибрежной зоне.

Именно вследствие строительства речных вокзалов фрагментарно возникают примыкающие к ним новые участки набережных. Так, например, появляются набережные у речных вокзалов в Волгограде, Саратове, Ярославле, Нижнем Новгороде.

После Великой Отечественной войны в 1952—1954 гг. полностью реконструируется центральная набережная в Сталинграде (совр. Волгоград), которая становится главным «речным фасадом» города-героя [5, 6]. Также в течение 1950—1980-х гг. в Куйбышеве строятся II, III и IV очереди набережной, которая становится наиболее протяженной среди других городов Поволжья (около 5 км) [7]. Самарские набережные обретают особенное значение для жителей, таким образом являясь примером культурного феномена, когда благоустроенные прибрежные территории становятся главным общественным центром города [8]. Именно на самарских набережных, особенно в теплое время года, сосредотачивается большое количество людей благодаря спортивным площадкам, пляжам и протяженным открытым пространствам вдоль воды.

В 1970-е гг., продолжая историческую традицию «видовых» волжских набережных, на высоких отметках рельефа строится набережная

им. Федоровского в Нижнем Новгороде, названная в честь известного учено-го-геолога, основоположника прикладной минералогии [9].

В конце XX в., в 1990-е гг., появляется новая набережная в Ярославле, примыкающая к существующей высокой набережной на стрелке слияния Волги с Которослью.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что прибрежные территории Поволжья трансформировались из производственных окраин в XIX в. в благоустроенные набережные, представляющие собой значимое общественное пространство в структуре города [10].

### **Современное развитие прибрежных территорий Поволжья**

Набережные Поволжья в XXI в. продолжают свое развитие. Генеральные планы практически всех волжских городов включают реконструкцию существующих набережных и освоение незастроенной территории вдоль воды. Поскольку набережная играет важную роль в проведении досуга жителями городов Поволжья, зачастую реконструкцию или строительство приурочивают к празднованию юбилея со дня основания города.

Так в 2008—2009 гг. к 450-летию города была реконструирована существующая, а также построена новая набережная в Астрахани. В 2010-х гг. построена новая набережная в Чебоксарах. В 2010 г. проведена масштабная реконструкция набережной на стрелке в Ярославле к празднованию 1000-летия города.

На развитие набережных Поволжья и появление двух крупных стадионов на 45 тыс. зрителей повлияло проведение Мундиале—2018. В результате в течение 2013—2017 гг. проведена комплексная реконструкция существующих набережных в некоторых волжских городах. Например, к чемпионату мира по футболу 2018 построена новая набережная в Волгограде, протянувшаяся до стадиона «Волгоград-Арена». После реконструкции в 2022 г. открыли ее нижнюю террасу.

Еще одним фактором, способствующим благоустройству прибрежных территорий и созданию здесь открытых общественных пространств, стала реализация федерального проекта по формированию комфортной городской среды с 2017 г. В рамках данной программы реконструирована набережная Федоровского в Нижнем Новгороде, а также создана Нижневолжская набережная у речного вокзала и на стрелке. Примечательно, что Нижневолжская набережная построена на основе реконструкции существующего гидротехнического сооружения — причальной стенки речного вокзала.

В 2022 г. введена в эксплуатацию первая очередь новой набережной в Автозаводском районе в Тольятти. Далее планируется построить следующие две очереди набережной в этом районе.

Помимо строительства набережных за последние два десятилетия разрабатываются проекты развития прибрежных территорий вдоль Волги, а также проводятся множество профессиональных тематических конкурсов.

В 2021 г. состоялся конкурс на V очередь набережной в Самаре, идея которой обсуждается с 1980-х гг. Предполагается, что участок вдоль пивоваренного завода соединит I и II очереди набережных. Помимо того, что появятся новая рекреационная зона, набережная выступит гидротехническим сооружением, препятствующим подтоплению производственного корпуса завода, являющегося объектом культурного наследия и одним из знаковых

архитектурных сооружений Самары [9]. Существуют детально проработанные проекты развития стрелки в Самаре, острова Гребневские пески в центре Нижнего Новгорода.

Существует ежегодный архитектурный фестиваль «Экоберег», в рамках которого с 2010 г. проводятся крупные профессиональные конкурсы на разработку проектов преобразования прибрежных территорий, в т. ч., городов Поволжья. В разные годы главной темой фестиваля становились прибрежные зоны Нижнего Новгорода, Казани, Ульяновска и Волгограда.

Если рассматривать видовое восприятие городов Поволжья с акватории, то стоит отметить, что и в процессе исторического развития, и в современное время основными зданиями и сооружениями, формирующими панораму со стороны Волги, остаются исторические объекты — церкви и монастыри, а также архитектурные ансамбли кремлей в Нижнем Новгороде, Астрахани и Казани.

К современным зданиям, выделяющимся из основной застройки, можно отнести построенные в XX в. речные вокзалы в Волгограде, Нижнем Новгороде, Ульяновске (рис. 1), а также стадионы в Волгограде и Нижнем Новгороде, построенные к чемпионату мира по футболу 2018 г.

Город	Общие данные	Архитектурный образ		
		Вид на фасад	Чертежи	Схема генплана
НИЖНИЙ НОВГОРОД	Архитектор: М.И. Чурилин Время стр-ва: 1962-1964 гг. Современное использование: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Речной вокзал</li> <li>• Выставочный центр</li> <li>• Редакция СМН</li> </ul>			
УЛЬЯНОВСК	Архитектор: Т.М. Садковский Время стр-ва: 1965 г. Современное использование: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Речной вокзал</li> </ul>			
САМАРА	Архитектор: Ленинпроекттранс Время стр-ва: 1967-1969 гг. Современное использование: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Магазины</li> <li>• Кафе</li> <li>• Прокат автомобилей</li> </ul>			
ЯРОСЛАВЛЬ	Архитектор: Т.П. Садковский Время стр-ва: 1976-1984 гг. Современное использование: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Речной вокзал</li> <li>• Кафе, кейтеринг</li> <li>• Гостиница</li> </ul>			

Рис. 1. Речные вокзалы в городах Поволжья

### Природные и техногенные факторы, влияющие на развитие прибрежных пространств Поволжья

Основное влияние на формирование волжских набережных оказывают три фактора — рельеф, тип гидротехнического сооружения (наклонный или вертикальный профиль, использованный для защиты от паводка), а также расположение транспортных магистралей.

Именно такой природный фактор, как перепад рельефа около 200 м, препятствует развитию набережной у воды в Ульяновске, где с XIX в. существует единственная набережная Венец, расположенная в нагорной части города. Таким образом, рекреационная функция набережной развивается не на Волге, а на реке Свияге, которая течет в структуре города. Также и в Казани набережная развивается вдоль р. Казанки и оз. Кабан.

Крупные реки представляют собой опасность в период паводка. Например, высота подъема воды в Волге достигает показателя 5 м. Поэтому, чтобы защитить русла рек от размыва применяются специальные гидротехнические конструкции, имеющие различную конфигурацию. Именно тип использованного гидротехнического сооружения во многом определяет возможность развития прибрежных зон.

По материалу исполнения гидротехнические конструкции бывают бетонными и сформированные из природных материалов. К примеру, наклонный бетонный профиль значительно усложняет устройство рекреационного пространства. В городах, где применен наклонный бетонный профиль ГС — в Ульяновске, частично в Нижнем Новгороде (Верхневолжская набережная), в Чебоксарах, общественные пространства не появляются из-за дороговизны реконструкции.

Таким, образом, рельеф и наличие паводков до 5 м, вследствие большого масштаба акватории, осложняют развитие прибрежных территорий Поволжья, а также определяют уникальность принимаемых решений относительно прибрежной зоны Волги в сравнении с другими реками, такими как Москва-река или Сена, где сток полностью зарегулирован и сезонный перепад воды не превышает 10...30 см.

#### **Мировой опыт в развитии прибрежных пространств, современные тенденции**

Если рассматривать эволюцию прибрежных территорий в мировом масштабе, то можно увидеть, что прибрежные зоны со времени возникновения человечества всегда играли важную роль. Именно природные водоемы обуславливают возникновение и развитие городов, ведение хозяйственной деятельности, а затем и становление промышленного производства. Рассмотрим более подробно функции, которые выполняли прибрежные зоны в различные исторические эпохи.

В ранний исторический период именно возле природных водоемов появляются первые поселения человека. Это обуславливается первичной потребностью в пресной воде.

С переходом от собирательства к земледелию (около 10 тыс. лет назад) доступ к пресной воде становится условием, необходимым для осуществления этого вида деятельности.

В Средние века природный водоем служит городу и в оборонительных целях, создавая труднопреодолимое препятствие для нападающих. С развитием речного судоходства возникают торговые отношения между городами, прибрежные территории начинают выполнять роль портовых ворот поселения, приобретают социально-экономическое значение как места, где заключаются крупные сделки, происходит обмен товарами и т. д. В результате, например в Европе образуется крупнейший Ганзейский союз (XIII в.), портовые города-участники которого получают наиболее быстрое экономическое развитие.



Промышленная революция XVIII—XIX вв. привела к тому, что прибрежные территории помимо портовой инфраструктуры, начали застраиваться производственными объектами. Размещение промышленности в непосредственной близости к воде обусловлено несколькими факторами, важными для осуществления производства: сброс отходов, транспортировка сырья и готовой продукции, позже — получение электроэнергии.

Однако в XX в. портово-промышленные районы оказываются заброшенными, поскольку производства перемещаются из центральной части городов на окраины или вообще в другие географические регионы (из Европы в страны Юго-Восточной Азии), а водный транспорт для транспортировки грузов зачастую заменяется авиационным и железнодорожным.

Со второй половины XX в. по настоящее время в связи с улучшением условий жизни человека и появлением значительного среднего класса возникает необходимость в рекреационных пространствах у воды [11, 12]. Поэтому, переходя к анализу мирового опыта архитектурно-планировочного развития современных прибрежных территорий, прежде всего стоит отметить, что во всем мире прибрежные зоны считаются наиболее ценными участками и представляют собой одни из главных общественных пространств городов. Они служат рекреационной зоной для жителей, зачастую становятся городской достопримечательностью, формируют имидж города и привлекают туристов, что доказывает их экономическую эффективность [13].

Так, например, набережные Барселоны, Нью-Йорка, Бильбао, Амстердама, Лондона и др. являются важными общественными пространствами, которые привлекают как местных жителей, так и множество туристов.

Мировой опыт развития прибрежных пространств позволяет выделить объективные тенденции развития прибрежных территорий, которые базируются на принципах всепогодности и многофункциональности с включением большого количества общественных зданий, что способствует достижению максимального социально-экономического эффекта [14, 15].

Архитектурно-планировочное решение многих известных современных набережных, помимо ландшафтного благоустройства, включает крупные общественные сооружения и их комплексы — театры, музеи, стадионы, библиотеки, выставочные галереи, креативные кластеры, деловые центры и пр. [16]. Именно общественные здания различного назначения способствуют насыщению прибрежных пространств функциями, которые охватывают широкие массы потенциальных посетителей набережной. Помимо этого, они обеспечивают всепогодность использования территорий в сравнении с набережными, которые представляют собой открытые общественные пространства с прогулочными дорожками, спортивными площадками, пляжами и т. д., имеющими активную посещаемость лишь в теплое время года.

Необходимо отметить, что архитектурно-художественная составляющая может играть значительную роль в развитии всего прибрежного пространства и города в целом, т. к. она может стать туристической достопримечательностью. Ярким примером служит музей Гуггенхайма в Бильбао (арх. Ф. Гэри), с появлением которого небольшой город в Испании стал знаменитым туристическим местом.

Подобные многофункциональные комплексы на набережных, включающие разнообразные пространства общественного назначения, могут создать

основу для инновационного и туристического развития центральной части городов. Этому также способствует то, что прибрежные зоны зачастую представляют собой резерв незастроенной территории в центральной части города [17].

Еще одна из глобальных тенденций в развитии набережных — преобразование заброшенных территорий бывших промышленных зон на берегах рек (озер) путем интегрирования новых функций в объекты индустриального наследия [18]. Лондон Доклендс (Великобритания), Мельбурн Доклендс (Австралия), Хафен-Сити (Германия) — яркие примеры реконструкции прибрежных районов, которые превратились в современные деловые центры, насыщенные общественными пространствами и знаковыми общественными зданиями [12].

### Перспективы и принципы развития прибрежных пространств крупнейших городов Поволжья

Современное развитие прибрежных территорий Поволжья связано с ландшафтным благоустройством, в т. ч. укладкой плитки, установкой малых архитектурных форм и озеленением. Архитектурными доминантами в речном фасаде волжских городов по-прежнему остаются объекты исторического наследия — церкви и монастыри (рис. 2).



Рис. 2. Церкви и монастыри, которые визуально просматриваются (просматривались) с теплоходов, идущих по Волге

Если анализировать прибрежную застройку с точки зрения архитектурной значимости объекта, то можно отнести к значимым объектам регионального масштаба комплексы речных вокзалов, построенные в XX в., и два стадиона к чемпионату мира по футболу 2018 г. (рис. 3). К ценным в городском масштабе можно отнести несколько современных зданий, а также реконструкцию пакгаузов Шухова (рис. 4).

		Общие информации	Фото	Чертежи	Контекст застройки
ЗНАКОВАЯ АРХИТЕКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ	Нижний Поволжье	Назначение: Стадион Автор: ПИИ «АРЕНА» Год: 2018 г. Площадь: 133 863 м <sup>2</sup> Вместимость: 45 000 мест Статус: Реализовано			
	Нижний Поволжье	Назначение: Выставочный павильон Автор: SPEECH Год: 2022 г. Площадь: 3 338,15 м <sup>2</sup> Статус: Реализовано			
	Волгоград	Назначение: Стадион Автор: ПИИ «АРЕНА» Год: 2018 г. Площадь: 127 480 м <sup>2</sup> Вместимость: 45 000 мест Статус: Реализовано			

Рис. 3. Знаковые здания регионального значения, расположенные в прибрежных зонах Поволжья

		Общие информации	Фото	Чертежи	Контекст застройки
ЗНАКОВАЯ АРХИТЕКТУРА МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ	Нижний Поволжье	Назначение: Конгресс-центр Автор: ГОРА, С. Горбунов Год: 2021 г. Площадь: 133 863 м <sup>2</sup> Статус: Реализовано			
	Нижний Поволжье	Назначение: Ресторан Автор: НИО Архстрой Барышникова О. А., Девятер А. В. Год: 2018 г. Статус: Реализовано			
	Волгоград	Назначение: Церковь ИЗ Харитонов Год: 2018 г. Статус: Реализовано			
	Самара	Назначение: Добарселер Автор: Суворовъ РСФСР Год: 1967 Статус: Реализовано			

Рис. 4. Знаковые здания местного значения, расположенные в прибрежных зонах Поволжья

Волжский регион обладает большим потенциалом развития, что обусловлено значительной протяженностью городов вдоль Волги, а также увеличением численности населения. Прибрежные районы и прилегающая акватория выступает как резерв неосвоенной территории. Поэтому важно определить стратегию развития прибрежных зон, опираясь на отечественный и зарубежный опыт, а также теоретические исследования в данной области.

Как показывает мировой опыт, эффективность пространства набережных зависит от двух взаимосвязанных факторов: функциональной насыщенности и круглогодичной эксплуатации. Поэтому дальнейшее развитие прибрежных

территорий городов Поволжья должно быть направлено на создание многофункциональных общественных пространств, которые являются точками притяжения публики в различное время года [19]. Это могут быть общественные здания, такие как театры, музеи, выставочные пространства, которые не только привносят собой новую функцию, но и за счет объемно-пространственного решения, обусловленного типологией, разнообразят визуальную среду, формируют «речной фасад города» (панорамное восприятие со стороны реки).

При устройстве современных прибрежных зон, учитывая их рекреационно-экологическое назначение, приоритет должен быть отдан пешеходам, а также велосипедистам на специально выделенных дорожках. Однако вместе с этим, прогнозируя большое количество посетителей набережной, важно предусмотреть достаточное количество парковочных мест. Решением данной проблемы может стать использование подземного пространства для автомобильного паркинга или эллинга для речного транспорта.

Помимо организации наземного и подземного пространства прибрежных зон прилегающая акватория также может быть задействована для расположения инновационных плавучих объектов, выделяющихся среди окружающей застройки. Здания на бетонных плавучих основаниях могут быть различного назначения и конфигурации. Например, в конкурсном проекте V очереди набережной в Самаре предлагается устроить арт-кластер, включающий несколько плавучих объектов: гостиницу, выставочную галерею, общественный центр, а также скульптурную композицию, служащую архитектурной высотной доминантой (рис. 5).



Рис. 5. Конкурсное проектное предложение V очереди набережной в Самаре: арт-кластер с плавучими объектами; авторы — М. Н. Полещук, И. В. Клименко, Е. Аветисова, А. Московский, А. Абрамов, М. Байдерина

## Выводы

1. Исследование показало, что прибрежные зоны волжских городов являются привлекательной и важной их частью, некоторые из них сформировались еще в XIX в. Согласно генеральным планам эти зоны принадлежат к наиболее ценным территориям развития.

2. В течение 2010—2020-х гг. выполнен целый ряд проектных работ по строительству новых набережных в городах Поволжья. Например, Ярмарочная набережная в Нижнем Новгороде, новые набережные в Саратове, Тольятти и т. д. В рамках генеральных планов развития городов на р. Волге существует достаточно большая программа реконструкции и нового строительства набережных в Волгограде, Саратове, Тольятти и др.

3. Анализ мирового опыта показал, что в развитых прибрежных зонах помимо рекреационных общественных пространств располагается значительное количество общественных зданий туристической, образовательной, культурной и другой типологии, занимающих 20...30 % общей территории.

4. Опыт других стран в развитии прибрежных территорий показывает, помимо строительства общественных зданий, эффективность использования подземного пространства, что превращает набережные не только в рекреационные и пляжные, но и в многофункциональные, всесезонные общественно-культурные, инновационные пространства. Данный принцип применен при разработке архитектурной концепции V очереди в Самаре. Из 100 % территории 30...40 % отводится под общественные функции. Своим примером этот проект создаст основания для более эффективного использования прибрежных территорий и в других городах (как и проект в Нижнем Новгороде).

Таким образом, проведенное исследование может дать теоретический материал для обоснования практической деятельности по реконструкции существующих и проектированию новых общественных пространств в прибрежных зонах Поволжья.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельфонд А. Л. Город у реки. Идентичное и глобальное // Приволжский научный журнал. 2017. № 4(44). С. 137—141.
2. Полецук М. Н., Клименко И. В. Развитие общественных пространств в прибрежных зонах крупнейших городов Поволжья // Архитектура и современные информационные технологии. 2022. № 2(59). С. 225—244.
3. Самогоров В. А., Журавлева Т. Д. Эволюция архитектурно-планировочной структуры набережной Самары // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 268—278.
4. Гордин А. А., Гордина Е. Д. Речной вокзал в историко-архитектурном облике Нижнего Новгорода // Вестник архивиста. 2022. № 4. С. 1248—1261.
5. Карпенко А. Г. Художественный образ Центральной набережной Волгограда: речной фасад города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 443—451.
6. Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В. Ландшафтно-экологическая организация визуального каркаса городских гибридных пространств в процессе ревитализации постиндустриального ландшафта набережной Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 173—186.
7. Мальшева С. Г. Исторические предпосылки и современные тенденции в развитии набережных Самары // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9. № 2(35). С. 112—117.

8. Семенцов С. В., Ахмедова Е. А., Волкова В. И. Водные пространства как главные общественные пространства градостроительных композиций и функциональных систем крупнейших городов // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4(72). С. 86—94.
9. Дуцев М. В. Архитектурная среда Нижнего Новгорода — диалоги с идентичностью. Ч. 2. Обновленные рекреационные пространства // Приволжский научный журнал. 2023. № 1(65). С. 187—192.
10. Гельфонд А. Л., Ахмедова Е. А. Формирование архитектурно-пространственной структуры волжских набережных на примере Нижнего Новгорода и Самары // Архитектура и строительство России. 2015. № 7. С. 2—15.
11. Bradbury M. The contemporary waterfront, from city to park // Urban transformation: controversies, contrasts and challenges. 2010. Vol. 2. 9 p.
12. Yocom K., Faghin N., Andrews L., Dyson K. Revitalizing urban waterfronts: identifying indicators for human well-being // AIMS Environmental Science. 2016. Vol. 3. Iss. 3. Pp. 456—473.
13. Isa M. Evolution of waterfront development in lumut city // Journal of the Malaysian Institute of Planners. 2020. Vol. 18. Iss. 3. Pp. 104—117.
14. Gyergyak J., Dan G., Paari P. Concepts for waterfront developments, focusing on Siofok, Hungary // International Journal for Engineering and Information Sciences. 2018. Vol. 13. No. 1. Pp. 169—179.
15. Üzümcüoğlu D., Polay P. Urban waterfront development, through the lens of the Kyrenia waterfront case study // Sustainability. 2022. Vol. 4. Iss. 15. Pp. 9469.
16. Hradilova I. Influence of urban waterfront appearance on public space functions // Mendel University Press. 2012. No. 8. Pp. 261—268.
17. Vimawala B. Waterfront and its relationship to the city structure // 2nd International Conference on Multidisciplinary Research & Practice. 2015. Vol. 3. Iss. 2. Pp. 236—241.
18. Ragheb A., Ashmawy E. Urban waterfront development for designing space in coastal cities // International Journal of Sustainable Development and Planning. 2020. Vol. 15. Iss. 3. Pp. 345—352.
19. Енин А. Е., Касьянова А. С. Развитие общественных пространств прибрежных территорий на примере крупных городов России // Архитектурные исследования. 2020. № 4(24). С. 86—95.

© Клименко И. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Клименко И. В. Особенности формирования и перспективы развития прибрежных пространств крупнейших городов Поволжья // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 180—191. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_180.

Об авторе:

**Клименко Инна Владимировна** — аспирант каф. архитектуры общественных зданий, Московский архитектурный институт (государственная академия) (МАРХИ). Российская Федерация, 107031, г. Москва, ул. Рождественка, 11/4, корп. 1, стр. 4; klimenko@markhi.ru

**Inna V. Klimenko**

**Moscow Architectural Institute (State Academy)**

## FEATURES OF FORMATION AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF COASTAL SPACES OF THE LARGEST CITIES OF THE VOLGA REGION

The article is devoted to the development of coastal zones on the example of the largest cities of the Volga region. In particular, the architectural and urban planning process of transformation of territories along the Volga River from industrial areas of the XIX century into recreational spaces of the XXI century is considered. Analysis of the world experience in the development of coastal zones is carried out, on the basis of which the basic principles of designing modern embankments are formu-

lated. In conclusion, possible ways of further development of the coastal territories of the largest cities of the Volga region are predicted, taking into account natural and anthropogenic factors such as relief, floods, existing transport infrastructure, etc., characteristic of this region.

**Key words:** the evolution of the architectural and urban planning organization of coastal zones, patterns of development of embankments, design of coastal spaces of Volga cities.

*For citation:*

Klimenko I. V. [Features of formation and prospects of development of coastal spaces of the largest cities of the Volga 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], 2024, iss. 2, pp. 180—191. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_180.

*About author:*

**Inna V. Klimenko** — Postgraduate student, Moscow Architectural Institute (State Academy) (MARKHI). 11/4, building 1, Rozhdestvenka st., Moscow, 107031, Russian Federation; klimenko@markhi.ru

УДК 502.55

**В. В. Курбатов, С. Д. Стрекалов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА**

Рассматриваются современное экологическое состояние городской воздушной среды и факторы ее загрязнения, участие автотранспорта как антропогенного источника загрязнения воздушной среды города. Приведены направления экологических исследований по основным регулируемым и нерегулируемым факторам, участвующим в формировании экологического состояния воздушной среды в городе. Показаны особенности воздушной среды, формируемой развитием эксплуатации Нулевой Продольной магистрали вдоль Волги. Предложены некоторые мероприятия по снижению уровня загрязнения воздушной среды от транспортных потоков в Волгограде и в его прибрежной зоне.

**Ключевые слова:** экология, экологическая безопасность, воздушная среда, транспортная система, транспортная магистраль, загрязнение воздуха, прибрежная зона города.

### **Введение**

В XX веке рассматривались преимущества проживания в городе, и, как отмечалось на конгрессе Всемирной ассоциации мегаполисов (1987 г.), город «...считался основным двигателем экономического и социального прогресса, ...центром сосредоточения интеллектуальных и культурных ценностей, предоставляя большие возможности для развития здравоохранения и т. п. ...» Привлекательность города дополнялась доступными услугами жизнеобеспечения, бытового комфорта, услуг здравоохранения, коммуникациями, транспортными и социальными инфраструктурами и др. Но стремительный рост городского населения в последние десятилетия, концентрация и интенсификация производственной и непроизводственной деятельности привели к ухудшению городской окружающей среды.

На современном этапе крупные города в России — это города с перегруженной производственной структурой и обострившимися экологическими проблемами. Следствием современного состояния окружающей среды мегаполисов, приводящим к нарушению в той или иной мере санитарно-гигиенических норм, стало негативное влияние на здоровье жителей. А показатели жизни именно городского населения, такие как продолжительность жизни и состояние здоровья, являются основными при определении их уровня в государстве в целом [1].

Советским градостроительством задачи экологизации городов решались в основном озеленением городских территорий и устранением вредных выбросов от промышленных предприятий. В дальнейшем обозначился переход к комплексному мониторингу загрязнителей воздушной среды и системному развитию энергоэффективных и экологически адаптивных технологий на этапе эксплуатации объектов-загрязнителей.

В исполнение национального проекта «Экология» в Волгоградской области обеспечивается непрерывная работа территориальной системы наблюдения за состоянием атмосферного воздуха, систематически готовятся и ут-



верждаются мероприятия по обеспечению защиты окружающей среды. При этом 73 % превышений загрязнителей воздуха окружающей среды фиксировали на автомагистралях в зоне жилой застройки, 27 % превышений фиксировали маршрутные и подфакельные исследования в зоне влияния промышленных предприятий. В целом по Волгоградской области по ряду химических веществ регистрируется стабилизация доли проб, превышающих гигиенические нормативы. В государственных докладах по годам даются характеристики загрязнения вредными веществами атмосферного воздуха Волгоградской области с указанием удельного веса проб атмосферного воздуха в городских поселениях с превышением ПДК по отдельным загрязнителям<sup>1</sup>.

### **Результаты и обсуждение**

Волгоградская область — крупнейший промышленный и культурный регион юга России. В рейтинге регионов с большой концентрацией промышленных предприятий область входит в первую двадцатку. С экологической точки зрения центр области, г. Волгоград, схож со многими современными промышленными городами России. Выбросы вредных веществ, растущий парк автотранспортных средств (АТС), недостаточный уровень озеленения и др. оказывают негативное влияние на его экологию. В связи с этим основным вопросом экологической политики города становится экологизация автотранспортного комплекса.

Представители правительства, комиссий Госсовета и профильных комитетов Госдумы, рассматривая перспективные транспортные стратегии, большое внимание уделяли снижению выбросов в атмосферу. Отмечалось, в частности, что 61 % загрязняющих веществ, эмитируемых транспортом, приходится на АТС. Так как отказаться от комфорта передвижения в личном автомобиле нереально, предлагалось в качестве одного из сценариев рассмотреть поэтапное установление ограничений на использование АТС низких экологических классов, в т. ч. за счет создания так называемых «экологических зон», куда запрещено въезжать машинам с неэкологичными двигателями. Однако на современном этапе (по данным ГИБДД на начало 2021 г.) из эксплуатируемого автопарка в стране большая часть — машины с двигателями «Евро-0» — «Евро-3», эксплуатируются старые автомобили с неустановленным классом<sup>2</sup>. Поэтому «низкокласные» автомобили вывести из транспортного потока пока не представляется возможным.

На токсичность автомобильного загрязнения окружающей среды в мегаполисе влияют качество топлива, конструктивные недостатки по части фильтрации отработанного газа (ОГ), автомобильные дороги, не приспособленные к возросшей нагрузке. Все это приводит к снижению эффективности работы двигателя и к повышению уровня загрязняющих выбросов [2]. Исследованиями выбросов загрязняющих веществ антропогенного характера и парниковых газов в атмосферу занимались и ранее, но особенно остро вопрос встал в последние годы XX в., включая исследования вариантов прогностического характера [3, 4].

<sup>1</sup> О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад 2019 г. URL: <https://www.portal-slovo.ru/impressionism/41495.php>.

<sup>2</sup> О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Волгоградской области в 2021 году. Государственный доклад 2021 г. С.5, 6. URL: [https://34.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/ecc/34\\_ГД\\_2021.pdf](https://34.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/ecc/34_ГД_2021.pdf).

Волгоград имеет типичную линейную градостроительную структуру, начало формирование которой отнесено к XVII в., когда Волга становится градообразующей и транспортной артерией. Волгоград «...простирается вдоль Волги практически на 100 км». При исследовании особенностей каркаса города указывается, что «...в Волгограде движение транспортных потоков осуществляется в основном по трем магистралям, проходящим вдоль р. Волги и располагающимся в жилой черте города» [5].

Вопросами загазованности атмосферного воздуха занимались многие исследователи, в т. ч. и ученые-экологи Волгограда. Ими изучено загрязнение атмосферного воздуха вдоль транспортных магистралей, обоснована необходимость и актуальность проведения мониторинга в городской среде, определены источники загрязнения воздушной среды, приведены примеры компонентов выбросов, поступающих от стационарных и передвижных источников, и распределения этих компонентов по транспортным средствам.

Далее исследования касались системы мониторинга городов с различной градостроительной планировкой, показана одинаковая важность оценки загрязнения атмосферы для города с линейной планировкой (Волгоград) и с компактной (Ставрополь). Отмечено, что по показаниям семи мониторинговых точек, расположенных в разных районах Волгограда, определяются загрязняющие воздух компоненты. Рекомендовано располагать мониторинговые точки на наиболее репрезентативных территориях. Показана необходимость учета возможных условий рассеивания загрязнений для линейного города [6, 7].

Для современного мегаполиса характерен рост городского автотранспортного потока. Его следствием являются такие негативные тенденции, как ухудшение качества воздуха, повышение уровня шума, возникновение транспортных пробок, уничтожение зеленых насаждений и др. Ежегодно автотранспортная нагрузка растет, соответственно растет и негативное воздействие на городскую среду.

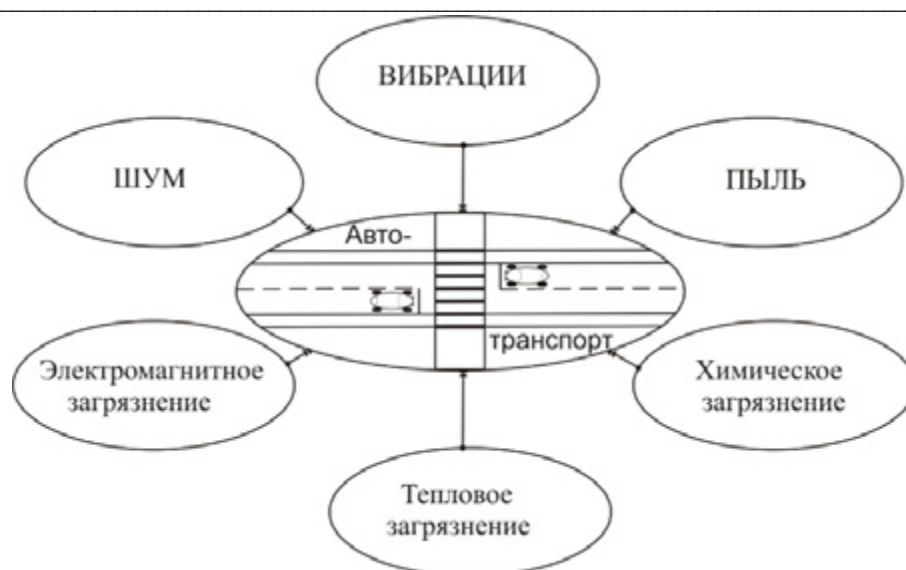
Исследователями различных регионов отмечается увеличение объемов выбросов от АТС, т. е. количество транспорта с приводом от сжигания углеводородов увеличивается [8]. Эта проблема ежегодного роста автомобильной нагрузки характерна для всех крупных городов (в Москве 93 %, в Санкт-Петербурге 86 % загрязнителей приходится на автомобили). По официальным источникам за последние 10 лет в среднем по России количество АТС увеличилось в 2 раза, примерно 80 % приходится на легковой транспорт [9].

Таким образом, преобразование энергии углеводородного топлива в электрическую и тепловую на предприятиях города и на транспорте, используемом в городской черте, приводит к усилению антропогенного воздействия на окружающую среду — биосферу и атмосферу, а для города на реке влияние распространяется и на гидросферу.

Обобщая результаты аналитических исследований, можно схематично представить факторы загрязнения городской среды, проявившиеся с развитием АТС (рис.).

При этом внутренняя энергия топлива, используемого АТС, после переработки выбрасывается в воздушную и водную среду побережья города в виде:

- вредных химических веществ и соединений;
- тепловых излучений;
- физических полей.



Блок-схема основных факторов загрязнения от городских АТС

По динамике роста количества АТС Волгоград следует российским тенденциям. Ежегодный прирост автотранспортного потока приводит к пропорциональному росту углеродной нагрузки на воздушную среду города.

Углеродный след от АТС на магистрали Нулевая Продольная выражается также в выбросах в окружающую среду парниковых газов: диоксида углерода и водяных паров в составе выхлопных газов.

Необходимо отметить, что в Волгограде взят курс на расширение парковых зон в центре города. Администрацией Волгоградской области принято решение о строительстве Нулевой Продольной магистрали (рокадной дороги)<sup>3</sup>. Начатое строительство магистрали вдоль Волги решает вопрос берегоукрепления рядом с будущей дорогой, к тому же это один из шагов, направленный на развитие Центральной набережной. Сейчас развитие Нулевой Продольной происходит и в северном направлении от Центральной набережной, и в южном. Для северного направления в рамках фестиваля «ЭкоБерег — 2022» проведен конкурс на разработку архитектурно-градостроительной концепции развития территории бывшего Тракторного завода. Рассматривались предложения по организации на территории транспортно-пешеходной сети, включая систему низкоскоростного экологического транспорта, по обустройству береговой линии с учетом проведенных ранее работ по берегоукреплению. Протяженная береговая зона соединит в перспективе все районы города, имеющие выход к реке. А планируемое формирование социально-экономических инфраструктур на базе побережья в дальнейшем будет способствовать устойчивому развитию города [10].

В последнее время происходит развитие забытого для городов на реках маломерного водного транспорта — моторных лодок, катеров, яхт и других

<sup>3</sup> Об утверждении государственной программы Волгоградской области «Развитие транспортной системы Волгоградской области» на 2014—2017 годы». Постановление правительства Волгоградской области от 05.02.2014 № 27-п. URL: <https://docs.cntd.ru/document/460279441?ysclid=lxhvbms970930511504>.

парусно-моторных судов, гидроциклов и пр. При этом для безналоговой эксплуатации ограничивается мощность двигателей. С начала века наблюдается резкий рост количества зарегистрированных маломерных судов: в 2005 г. их число составляло менее 1 млн ед., а через 5 лет добавилось 600 тыс.ед. К 2020 году общее число моторных лодок, катеров и яхт в собственности населения РФ составило более 1,2 млн ед. Таким образом, российский рынок моторных лодок и катеров в последние годы показывает положительный тренд.

В Волгограде оживлению лодочного туризма и услуг по организации активного отдыха горожан и приезжих гостей способствуют активно работающие лодочные станции и семь яхт-клубов. Дополнительно к организованным стоянкам значительное число владельцев моторных лодок приобретают специальные прицепы, позволяющий без труда транспортировать лодку, хранить ее на стоянке или в гараже, спускать на воду и поднимать обратно.

Еще одним элементом инфраструктуры, необходимым для развития водно-моторного туризма в акватории Волгограда, являются водные заправки. На речных судах используются в основном винтовые моторы, предназначенные для установки на кормовой части движущегося речного плавсредства. При удельном расходе топлива в лодочном моторе 250...320 мл на 1 л. с. за час работы (в зависимости от мощности) с ростом парка лодок растет и объем потребляемого топлива.

Качество процесса заправки определяется хозяином плавсредства, это бензины 92-й и 95-й (с рекомендуемым применением различных присадок к бензину: кондиционер, стабилизатор, очиститель камеры сгорания), которые доставляется с АЗС в специальных канистрах из антистатического материала. Канистры вмещают объем горючего, рассчитанный на покрытие лодкой планируемого расстояния. Кроме того, для работы некоторых моторов требуется приготовление топливной смеси из бензина и масла в различных пропорциях, зависящих от режимов эксплуатации мотора.

Ручная заправка мотора сопряжена с обеспечением пожаробезопасности и физическими нагрузками, которые зависят от имеющейся силы, сноровки и ловкости владельца. Производители лодочных моторов особо обращают внимание на разливы топлива при заправке (рекомендуется в этом случае немедленно вытереть разлив сухой ветошью, предписывается и способ удаления ветоши). Поэтому первый «углеродный след» на водной поверхности от моторных лодок появляется на стадии заправки лодочного мотора, когда малые разливы связаны непосредственно с переливом горючего из канистр в бак мотора.

Второй «углеродный след» связан с конструктивными особенностями лодочного мотора, т. к. современные винтовые моторы для малых речных судов выпускают выхлопной газ ниже поверхности воды, продукты сгорания топлива выбрасываются, проходя через воду [11]. Часть компонентов выхлопных газов выходит в атмосферу, остальное, конденсировавшись, остается в водной фазе. В зависимости от физических свойств такая смесь остается в верхнем слое воды или может находиться на поверхности воды в виде пленки в течение различных промежутков времени.

Исследования авторов, проводимые в конце прошлого столетия, по биоразлагаемости продуктов отработки лодочных моторов показали, что в среднем 65 % выхлопных газов от двигателей моторных лодок испаряются из воды менее чем за 1,5 ч при температуре окружающей среды

+10...+30 °С, а остальная часть выбросов, присутствующая в виде нелетучей углеводородной фракции, остается в водной смеси и продолжает взаимодействовать с водной средой, проявляя токсичность по отношению к водным организмам [12—14].

Таким образом, формирование воздушной экосистемы в зоне правобережья Волги происходит под воздействием АТС, эксплуатируемых на Нулевой Продольной магистрали, и маломерного водного транспорта, эксплуатируемого во внутренних водах с прибрежной полосы береговой зоны.

С целью повышения экологической безопасности воздушной среды прибрежной зоны Волгограда возможно использование некоторых известных способов сокращения загрязняющих выбросов. Это, прежде всего, использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Это наиболее эффективный и доступный ресурс. Для преобразования используются разные виды энергии: ветровой, солнечной, гибридной ветро-солнечной, течения реки [15, 16].

Но для городской среды получение энергии от ВИЭ ограничивается возможностями технической реализации: конструктивными особенностями ветропреобразователей, наличием свободной незатененной поверхности для расположения солнечных панелей. К тому же кроме экологических показателей преобразователи должны обладать и эстетическими характеристиками, иллюстрирующими взаимодействие человека и природы в проектируемом городском пространстве [17].

Авторами предлагается использование разработанных новых устройств по преобразованию энергии от потока течения реки или ветрового потока с конструктивной возможностью генерации экологически чистой электроэнергии [18, 19].

На основе разработанных моделей преобразования энергии течения воды, устанавливаемых в береговой зоне с возможностью погружения рабочих поверхностей в поток, реализуется направление экологизации транспортного комплекса и транспортной инфраструктуры, предусматривающее эффективный способ использования транспортных средств с «нулевым» выбросом. Предлагается в эксплуатируемый транспортный поток внедрять полностью электрифицированный транспорт или гибридный электросетевой-аккумуляторный.

Также можно использовать разработанные модели кинетических фигур, имеющих качество арт-объектов и технически скорректированных для адаптации к живой природе. Определяющими качествами этих объектов являются не только воспроизводимое движение, но и техническая способность преобразовывать энергию ветра. Динамическое изменение движения арт-объектов (повторяющего летающие, плавающие, ползающие движения животных, птиц, рыб и т. д.) происходит с помощью конструктивных элементов, позволяющих воспринимать механические воздействия ветра. Создаваемое движение может быть преобразовано в электрическую энергию. Устройства микрогенерации могут быть встроены в сети эксплуатационного обслуживания электрозаправок и в другие точки транспортной инфраструктуры, использоваться для энергоэффективного электроснабжения осветительной сети вдоль магистрали.

### Выводы

По результатам аналитического обзора состояния загазованности городской среды проведен поиск способов снижения антропогенного загрязнения прибрежной зоны Волгограда.

Использование экологически чистой возобновляемой энергии для энергообеспечения транспортной системы в прибрежной зоне может способствовать снижению углеродной нагрузки на окружающую среду, повышению энергосбережения при эксплуатации транспортной системы.

Использование предложенных мероприятий будет способствовать повышению экологической безопасности воздушной среды в прибрежной зоне г. Волгограда.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Будрейко Е. Н. Экология городов. Загрязнение почв, воды и воздуха // Естествознание. 2009. Режим доступа: URL: <http://www.portal-slovo.ru/impressionism/41495.php>.
2. Ewing R., Walters J. Measuring the benefits of compact development on vehicle miles and climate change // Environmental Practice. 2009. Vol. 11. Iss. 3. Pp. 196—208.
3. Ambach W. Increased CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere and climate change: Potential effects on the Greenland ice sheet // Wetter und Leben. 1980. Vol. 32. Pp. 135—142.
4. Hansen J. E., Lacis A. A. Sun and dust versus greenhouse gases: an assessment of their relative roles in global climate change // Nature, 1990. Vol. 346. Pp. 713—19.
5. 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.
6. Особенности мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в линейных и компактных городах на примере Волгограда и Ставрополя / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, Е. В. Соколова, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, Л. М. Арзамаскова, О. В. Коновалов // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8.
7. Ivanova J., Sokolova E., Azarov V., Martynova E. Dispersion analysis of carbon monoxide concentrations in the cities atmospheric air // International Scientific Conference. 2019. Vol. 138. URL: [e3s\\_conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/64/e3sconf\\_catpid18\\_01031/e3sconf](https://e3s.conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/64/e3sconf_catpid18_01031/e3sconf).
8. Di Lorio S., Magno A., Mancaruso E. Engine performance and emissions of a small diesel engine fueled with various diesel/RME blends // SAE Technical Paper. 2014. DOI: 10.4271/2014-32-0135.
9. Шишкина А. А. Рост количества автомобильного транспорта как угроза экологической безопасности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. Вып. 3. С. 178—181.
10. Комплексное обновление «Стратегического плана устойчивого развития Волгограда до 2025 года» / Д. П. Фролов, А. А. Голодова, А. В. Золотарев, Н. С. Полусмакова, И. Д. Ким / Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2015. 484 с.
11. Shuster W. Control of pollution from outboard engine exhaust: a reconnaissance study // Water Pollution Control Series. 1971. No. 15020.
12. Dupree C. Potential impacts of emission from outboard motors on the aquatic environment: a literature review // National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd. 2007. Pp. 4, 9—12.
13. Jackivicz T. P., Kuzminski L. N. The effects of the interaction of outboard motors with the aquatic environment: a review // Environmental Research. 1973. Vol. 6. Iss. 4. Pp. 436—454.
14. Troy A. B., Dunn R. J. K. Boating- and Shipping-Related Environmental Impacts and Example Management Measures // A Review. 2020. Vol. 12.
15. Strekalov S. D., Strekalova L. P., Kurbatov V. V. Comparative characteristics of wave converters of wave type // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. 2019. Pp. 1—4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934088.
16. Галуцак В. С., Сошинов А. Г., Угаров Г. Г. Системы наружного электрического освещения от возобновляемых источников энергии / Известия ВолГУ. Серия 2: Процессы преобразования энергии и энергетические установки. 2009. Вып. 2. № 7(55). С. 15—18.
17. Курбатов В. В. Аналитический обзор и направление исследований факторов антропогенного загрязнения прибрежной зоны города Волгограда // V международ. науч.-практ. конф.: сб-к статей. 2022. Петрозаводск : Новая наука, 2022. С.79—84.

18. *Strekalov S. D., Kurbatov V. V.* Development of an eco-friendly wave-type engine for small river vessels // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. 2021. Pp. 69—77. DOI: 10.1007/978-981-16-8759-4.

19. *Курбатов В. В.* К разработке устройства микрогенерации для тихоходных ветродвигателей // Материалы XI международ. науч.-техн. конф. «Электроэнергетика глазами молодежи — 2020». 2020. Т. 2. С. 79—82.

© Курбатов В. В., Стрекалов С. Д., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

*Курбатов В. В., Стрекалов С. Д.* Исследование экологии воздушной среды в прибрежной зоне города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 192—199. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_192.

Об авторах:

**Курбатов Вячеслав Вадимович** — экстерн, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Kurbatov-slavard@yandex.ru

**Стрекалов Сергей Дмитриевич** — старший преподаватель каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; strekalov\_sergey@mail.ru

**Vyacheslav V. Kurbatov, Sergey D. Strekalov**

**Volgograd State Technical University**

## AIR ECOLOGY STUDY IN THE COASTAL ZONE OF VOLGOGRAD

The current ecological state of the urban air environment and its pollution factors, the participation of motor vehicles as an anthropogenic source of urban air pollution are considered. The directions of environmental research on the main regulated and unregulated factors involved in the formation of the ecological state of the air environment in the city are given. The features of the air environment formed by the development of the operation of the Zero Longitudinal Highway along the Volga are shown. Some measures are proposed to reduce the level of air pollution from traffic flows in Volgograd and in its coastal zone.

**Key words:** ecology, environmental safety, air environment, transport system, transport route, air pollution, coastal zone of the city.

*For citation:*

Kurbatov V. V., Strekalov S. D. [Air ecology study in the coastal zone 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], 2024, iss. 2, pp. 192—199. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_192.

*About authors:*

**Vyacheslav V. Kurbatov** — external student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Kurbatov-slavard@yandex.ru

**Sergey D. Strekalov** — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; strekalov\_sergey@mail.ru

УДК 614.876+699.88

**О. П. Сидельникова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДОНОБЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ**

Статья посвящена исследованию динамики накопления радона в воздухе помещений нижних этажей зданий, построенных из различных строительных материалов. Результаты выполненных практических и теоретических работ позволили определить пути поступления радона в здания, места его скопления и перемещения. Показано, что радоновую обстановку в здании формируют два процесса — поступление радона из грунтового основания и его эманирование из материалов ограждающих конструкций, а доминирующий процесс определяется совокупностью физико-механических характеристик грунта и особенностями конструкции подземной оболочки здания. Широкое использование современных технологий, направленных на снижение тепловых потерь, неизменно сопровождается уменьшением кратности воздухообмена. Это приводит к ухудшению качества воздуха в зданиях и увеличению концентрации радона. Накопление радона в высокоэффективных зданиях способствует увеличению радоновых нагрузок на население и определяется режимом эксплуатации помещения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** радон, дочерние продукты распада, принцип оптимизации, референтный уровень, эквивалентная равновесная объемная активность, естественные радионуклиды, строительные материалы, энергоэффективность здания, кратность воздухообмена.

Современный этап развития научно-технического прогресса характеризуется ростом количества ионизирующего излучения техногенного характера, которые создают повышенный радиационный фон.

В настоящее время базовые принципы радиационной безопасности определяются «Публикацией 103» Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [1]. Адаптация к новым рекомендациям МКРЗ базируется на рассмотрении различных вариантов ситуаций облучения, где центральная роль придается принципу оптимизации и референтным уровням.

Облучение населения радоном относится, как правило, к ситуации существующего облучения, поскольку его источником являются концентрации естественных радионуклидов земной коры. Техногенная деятельность человека может изменять или создавать пути поступления радона, вследствие чего повышаются объемные активности (ОА) внутри помещений. Очевидно, что этими путями необходимо управлять с помощью корректирующих или предупредительных мер.

По мнению МКРЗ и ВОЗ, подход, при котором меры по снижению ОА радона рекомендовались только в случае превышения установленного уровня действия, создавал неверное представление, что воздействие ниже этого уровня является безопасным [2—4].

Важным элементом современной стратегии регулирования радоновой проблемы является изменение смысла нормируемой величины, переходя от уровня действия к референтному уровню.

*Референтный уровень (РУ)* представляет собой уровень дозы, риска или концентрации радионуклидов, допущение превышения которого при планировании считается неприемлемым, а ниже которого должна осуществляться оптимизация защиты. Следствием использования понятия РУ вместо понятия



уровня действия является то, что оптимизация должна применяться как оправданная мера выше и ниже РУ, а не только когда он превышает.

В зданиях (при отсутствии искусственных источников) посетители подвергаются воздействию технологически измененного естественного радиационного фона, обусловленного природными источниками ионизирующего излучения: космическим излучением и естественными радионуклидами (ЕРН), содержащимися в грунте, на котором возведено здание, в строительных материалах, из которых изготовлены ограждающие конструкции, а также поступающими в помещение вместе с воздухом, водой и в результате сгорания топлива.

Во многих развитых странах мира обнаружены высокие уровни облучения населения в дозах, значительно превышающих допустимые, вследствие использования строительных материалов с повышенным содержанием ЕРН и дочерних продуктов распада (ДПР) радона, накапливающихся в воздухе помещений [5].

Целью государственной политики в области обеспечения радиационной безопасности являются последовательное снижение до приемлемого уровня техногенного воздействия на население и окружающую среду радиационного фактора и снижение до допустимых норм воздействия природных источников ионизирующего излучения.

Одним из отрицательных экологических последствий интенсификации развития промышленности, происшедшей во второй половине XX столетия, явилось увеличение техногенного радиационного фона в результате перемещения в процессе производственной деятельности огромного количества природных радионуклидов (уран, торий и продукты их распада), что привело к изменению радиационного воздействия на человека. Уровень концентрации этих радионуклидов на земной поверхности резко возрос в связи с извлечением полезных ископаемых из недр и их последующей переработкой [6].

Основная идея реализации современной радоновой политики определяется не только снижением индивидуальных рисков от радона для наиболее облучаемых лиц, но и последовательным снижением общего коллективного риска для населения.

Контролируемость облучения радоном лежит в основе регулирования ситуации с облучением, разработка стратегии и тактики которого является предметом рекомендаций и требований авторитетных международных организаций по радиационной безопасности [7].

Радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) является природным источником радиоактивного излучения, представляет собой одноатомный радиоактивный газ, который не имеет стабильных изотопов и образуется в геологической среде в результате распада радия ( $^{226}\text{Ra}$ ). Радон присутствует в трех радиоактивных семействах:

- ряд урана  $^{238}\text{U}$ , конечным продуктом которого является стабильный изотоп свинца  $^{206}\text{Pb}$ ;
- ряд тория  $^{232}\text{Th}$ , конечным продуктом которого является стабильный изотоп свинца  $^{208}\text{Pb}$ ;
- ряд урана  $^{235}\text{U}$ , конечным продуктом его является стабильный изотоп свинца  $^{207}\text{Pb}$ .

Наибольший вклад в дозовые нагрузки населения и вред для здоровья вносит родительский изотоп радона  $^{222}\text{Rn}$ , который имеет период полураспада

да  $T_{1/2} = 3,8$  сут. И, как следствие, радон может мигрировать на значительные расстояния от места образования.

Изотопы  $^{220}\text{Rn}$  (торон) и  $^{219}\text{Rn}$  (актинон) имеют период полураспада значительно меньше, чем  $^{222}\text{Rn}$ . Период полураспада  $^{220}\text{Rn}$  составляет 55,6 с, а период полураспада  $^{219}\text{Rn}$  — 3,96 с, что является малозначительным при оценке степени радоновой опасности. Именно на долю  $^{222}\text{Rn}$  приходится почти вся доза ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ), при этом доля «чистого» радона — не более 2 %.

Радон относится к канцерогенам первой группы, не имеет цвета, запаха и вкуса. Радон и его ДПР приводят к облучению внутренних органов, увеличивая риски рака легких, лейкемии, рака мозга. Совместно эти факторы оказывают мультипликативный эффект, ущерб от их совместного воздействия в разы превышает количество ущерба, нанесенного в отдельности каждым фактором. Вероятность заболевания определяется продолжительностью и интенсивностью воздействия, а также состоянием здоровья человека, подвергнувшегося облучению [8].

В воздухе любого здания радон присутствует всегда. ОА радона в атмосферном воздухе составляет около 10 Бк/м<sup>3</sup>. ОА радона в воздухе помещений обычно выше, чем в воздухе вне зданий. Изменение ОА радона обусловлено следующими причинами:

- присутствие источника радона в самом здании или возле него;
- наличие путей поступления радона в здание;
- наличие побудительных сил, перемещающих радон в здание;
- присутствие путей миграции радона от источника радона к зданию.

Основным источником радона является территория застройки — горные породы, на которых расположены здания. ОА радона в почвенном воздухе обычно достигает десятки и сотни кБк/м<sup>3</sup>. Активность радона на поверхности грунта может возрастать, если под зданием расположены рудные образования, содержащие радий.

При проведении инженерных изысканий определяют параметры потенциальной радоновой опасности участков застройки. Кроме того, источником радона в воздухе помещений являются строительные материалы, из которых возведено здание. При определенных условиях эманирование радона из строительных конструкций также может являться значимым фактором формирования радоновой обстановки в здании. Из горных пород под зданием, строительных материалов радон перемещается по порам и трещинам. Эти процессы определяются тремя механизмами:

- диффузионным, возникающим из-за градиента концентраций радона в среде (скорость переноса радона в основном определяется значением коэффициента диффузии радона в среде);
- конвективным, вызванным разностью давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой;
- смешанным (конвективно-диффузионным), с преобладающим вкладом одного из механизмов и существенным вкладом другого [9].

В воздухе помещений смесь ДПР радона постоянно находится в изменяющемся неравновесном состоянии. Для оценки опасности загрязнения помещений радоном введено понятие эквивалентной *равновесной объемной активности* (ЭРОА) радона. ЭРОА радона — значение объемной удельной ак-

тивности радона в равновесии с ДПР, которые имели бы такую же потенциальную альфа-энергию на единицу объема, как и существующая смесь. ЭРОА радона определяется:

$$\text{ЭРОА} = 0,105 \cdot \text{ОА}_{\text{RaA}} + 0,515 \cdot \text{ОА}_{\text{RaB}} + 0,380 \cdot \text{ОА}_{\text{RaC}}, \quad (1)$$

где  $\text{ОА}_{\text{RaA}}$ ,  $\text{ОА}_{\text{RaB}}$ ,  $\text{ОА}_{\text{RaC}}$  — объемная активность в воздухе помещения ДПР радона — соответственно изотопов  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $\text{Бк/м}^3$ .

Величина сдвига радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР количественно характеризуется коэффициентом равновесия:

$$F = \frac{\text{ЭРОА}}{\text{ОА}}. \quad (2)$$

$F$  изменяется в помещениях от 0,2 до 0,7, среднее значение — 0,4<sup>1</sup>.

Радон выполняет ключевую роль в механизме формирования радоновой нагрузки в зданиях, является поставщиком скрытой энергии или ЭРОА радона, которая следует во времени и в пространстве за динамично меняющейся концентрацией радона, но при меньшей, пропорционально величине коэффициента равновесия и ОА.

Зависимость уровня радиационного риска от величины ЭРОА радона приведена в табл. 1. Нормативу для эксплуатируемого жилья  $200 \text{ Бк/м}^3$  соответствует пожизненный риск примерно 6 % [10, 11]. Если ЭРОА превышает  $500 \text{ Бк/м}^3$ , то риск становится больше 15 %, а необходимость выполнения мероприятий по снижению облучения — вполне очевидной.

Таблица 1

Эффективные дозы и риски, связанные с радоном [12]

ЭРОА, $\text{Бк/м}^3$	Назначение строительного объекта	Экспозиция		Эффективная доза, мЗв		Риск	
		час/год	лет	за год	суммарная	за год	суммарный
16 (фон)	—	7000	70	1,0	70	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
100	Строящееся жилье	7000	70	6,3	440	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
200	Действующее жилье	7000	70	12,6	880	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$
310	Производство	2000	50	7,4	370	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
1200	Урановые рудники	1700	20	29*	580	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
1200	Персонал группы А	1700	50	29*	1450	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-2}$

\*Расчет дозы выполнен, исходя из объема вдыхаемого воздуха  $2400 \text{ м}^3/\text{год}$

Эффективные дозы от радона рассчитываются с использованием условного дозового перехода — от экспозиции ЭРОА радона ( $\text{Бк/м}^3$ ) переходят к эффективной дозе (нЗв) через коэффициент, рассчитанный путем сравнения рисков. Это соотношение зависит от распределения активности по размерам аэрозолей, доли свободной фракции, скорости дыхания, доли активности, осевшей в разных частях легких, глубины расположения радиочувствитель-

<sup>1</sup> СанПиН 2.6.1.2523—09/2009. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170553>.

ных клеток легочного эпителия. Значения дозового коэффициента равны  $12 \cdot 10^{-6}$  нЗв на  $1 \text{ Бк} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  для производственных условий и  $9 \cdot 10^{-6}$  нЗв на  $1 \text{ Бк} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  — для жилых зданий [13].

В России такой подход впервые применен еще при подготовке «Норм радиационной безопасности» НРБ—69 и с тех пор, несмотря на существенные изменения номинальных значений коэффициентов риска на единицу дозы, норматив по радону практически не изменился.

Уровень радиационного риска  $6,4 \cdot 10^{-2}$  за 70 лет, соответствующий среднегодовой ЭРОА радона  $200 \text{ Бк}/\text{м}^3$ , нельзя признать вполне приемлемым.

Целью настоящего исследования является выполнение работ по оценке уровней облучения населения за счет радона и разработке комплекса мероприятий по обеспечению радоновой безопасности на территории г. Волгограда. В этой связи проведено определение содержания радона в зданиях из различных строительных материалов жилого фонда во всех районах города.

Проведены исследования ОА радона в холодный период года в 174 домах Волгограда. Исследования проводились в зданиях, построенных из различных строительных материалов. Приведенные в табл. 2 и на рисунке данные являются частью выполненных исследований [14, 15].

Таблица 2

*Показатели объемной активности радона и дочерних продуктов распада на первых этажах жилищного фонда г. Волгограда*

№ п/п	Материал жилого здания	Число измерений	Среднее значение ОА, $\text{Бк}/\text{м}^3$	Диапазон вариаций ОА, $\text{Бк}/\text{м}^3$
1	Силикатный кирпич	12	33,9	7,9...72,4
2	Панели	84	25,8	9,1...76,5
3	Железобетон	19	31,8	23,2...94,5
4	Керамический кирпич	16	31,4	9,7...71,0
5	Блоки	21	38,5	15,2...97,4
6	Дерево	22	39,5	11,2...96,0

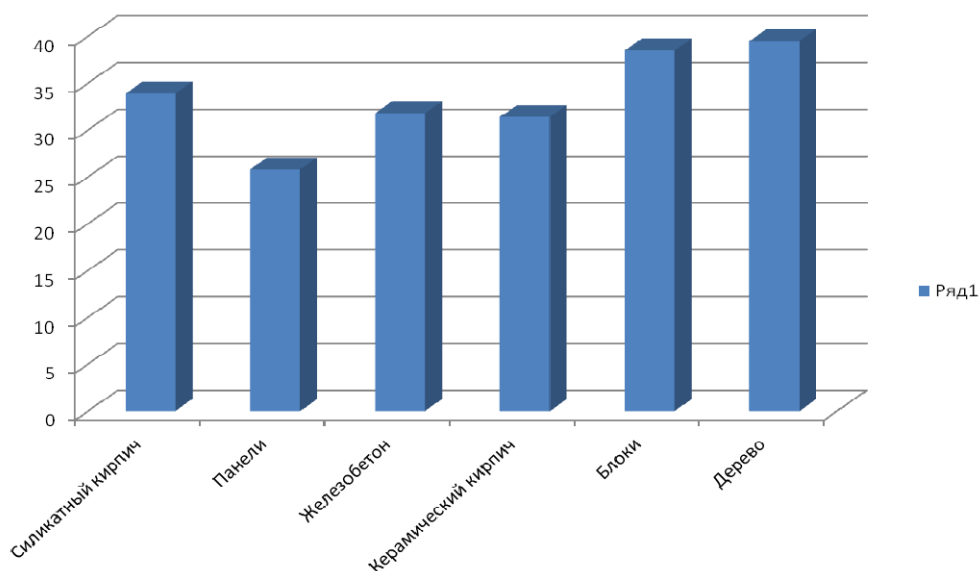
Ущерб коллективному здоровью населения определяется малыми концентрациями радона, поэтому присутствие его в помещениях представляет серьезную проблему.

Полученные результаты позволяют выявить изменения ОА радона. Анализ результатов измерений показал, что концентрация  $^{222}\text{Rn}$  и ДПР в воздухе обследуемых помещений находится в пределах  $7,9 \dots 97,4 \text{ Бк}/\text{м}^3$ . ОА радона и ДПР на первых этажах каменных многоэтажных зданий и в деревянных домах не превышает нормативных показателей.

Одним из основных положений стратегии энергоэффективности зданий является повышение требований к энергосбережению во вновь возводимых зданиях. Меры по энергосбережению, снижению затрат на отопление базируются, прежде всего, на снижении потерь тепла через ограждающие конструктивные элементы за счет теплопроводности и конвекции. Один из основных методов ограничения теплового потребления — снижение неконтролируемого воздухообмена с наружной атмосферой при пассивном режиме эксплуатации. Однако снижение тепловых потерь приводит к трансформации

микроклимата помещений. Очевидно, что при снижении кратности воздухообмена может происходить ухудшение качества воздуха помещений.

Сокращение энергопотребления в новых зданиях достигается за счет применения железобетонных и монолитных бетонных конструкций в сочетании с использованием различных эффективных утеплителей, внешних изоляционных панелей, герметичных стеклопакетов, а также специальных требований к планировке.



Зависимость средней ОА радона в зимний период от материала жилого здания, Бк/м<sup>3</sup>

При проектировании зданий могут использоваться высокоэффективные системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и водонагревательных систем. Если в энергосберегающих домах отсутствует механическая приточно-вытяжная система вентиляции, то происходит увеличение ОА радона по сравнению с домами низкой энергоэффективности и с высокой проницаемостью ограждающих конструкций [16, 17].

В энергоэффективных зданиях радоновые нагрузки населения определяются следующими факторами:

- экспозиция пассивного режима вентиляции;
- периодичность проветривания;
- режим содержания помещений.

Отключение или неисправная работа механических систем приточно-вытяжной вентиляции могут способствовать резкому росту поступления радона в помещение.

Благоприятная радоновая обстановка в зданиях обеспечивается современными технологиями строительства: рациональным проектированием подземной оболочки и обеспечением достаточной кратности воздухообмена. Решение проблемы снижения радоновых нагрузок может быть осуществлено путем комплексных исследований. Чрезвычайно важным этапом решения этой проблемы является разработка новых и определение реализуемых на

рынке строительных и отделочных материалов с низкими эффективными удельными активностями для снижения радиационного фона в помещениях и защиты населения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ): Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2007 года / Под ред. Л.-Э. Холма. Перевод с англ. под общ. ред. М. Ф. Киселева и Н. К. Шандалы. М. : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
2. Жуковский М. В., Ярмошенко И. В., Киселев С. М. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2011. Т. 5. С. 18—25.
3. Health Effect of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR IV). National Academy Press. Washington, 1999.
4. Henchel D. B. Radon Reduction Techniques for Detached Houses. Technical Guidance (Second Edition). US Environmental Protection Agency, 1988.
5. Sidelnikova O. P., Khorzova L. I., Sidyakin P. A. Radiation-related hygienic assessment of materials in complexes of the Volgograd region // Spatium. 2016. Vol. 36. Pp. 46—54.
6. Сидельникова О. П. Радиационно-экологическая безопасность в строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 201—208.
7. Глазачев И. В. Оценка изменчивости радоноопасности существующих зданий в рамках суточного мониторинга // Актуальные исследования. 2023. № 51(181). Ч. 1. С. 55—59.
8. Калайдо А. В., Римшин В. И., Семенова М. Н. Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания // Жилищное строительство. 2021. № 7. С. 48—54.
9. Цапалов А. А. Закономерности поведения радоновой радиоактивности в помещениях зданий и принцип контроля // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 15—23.
10. Stefanenko I. V., Sidelnikova O. P. Ensuring the Radiation-Related Ecological Safety of Buildings // Applied Mechanics and Materials. 2018. Vol. 878. Pp. 243—247.
11. Задачи и методы радиационного контроля при строительстве зданий / И. В. Павлов, Л. А. Гулабянц, С. И. Иванов, С. Е. Охрименко, А. М. Маренный // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2003. № 3. С. 2—12.
12. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблеи за 2000 г. с приложениями. М. : Мир, 2002. 552 с.
13. Сидельникова О. П. Мониторинг радиационно-экологических характеристик зданий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 2(26). С. 15—23.
14. Сидельникова О. П. Естественная радиоактивность строительных материалов Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 30—36.
15. Ярмошенко И. В., Малиновский Г. П., Онищенко А. Д., Васильев А. В. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 4. С. 56—65.
16. Finne I. E., Kolstad T., Larsson M. Significant reduction in indoor radon in newly built houses // Journal of Environmental Radioactivity. 2019. Vol. 196. Pp. 259—263.
17. Arvela H., Holmgren O., Reisbacka H. Radon prevention in new construction in Finland: a nationwide sample survey in 2009 // Radiation Protection Dosimetry. 2012. Vol. 148. Pp. 465—474.

© Сидельникова О. П., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Сидельникова О. П. Современные подходы обеспечения радонобезопасности зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 200—207. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_200.

*Об авторе:*

**Сидельникова Ольга Петровна** — д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

***Olga P. Sidelnikova***

***Volgograd State Technical University***

## **MODERN APPROACHES TO ENSURING RADON SAFETY OF BUILDINGS**

The article is devoted to the study of the dynamics of radon accumulation in the air of the lower floors of buildings constructed from various building materials. The results of the practical and theoretical work made it possible to determine the routes of radon entry into buildings, the places of its accumulation and movement. It is shown that the radon environment in a building is formed by two processes — the intake of radon from the soil base and its emanation from the materials of the enclosing structures, and the dominant process is determined by the combination of physical and mechanical characteristics of the soil and the design features of the underground shell of the building. The widespread use of modern technologies aimed at reducing heat losses is invariably accompanied by a decrease in the air exchange rate. This leads to deterioration of air quality in buildings and increased radon concentrations. The accumulation of radon in highly efficient buildings contributes to an increase in radon loads of the population and is determined by the mode of operation of the premises.

**К е y w o r d s:** radon, daughter decay products, optimization principle, reference level, equivalent equilibrium volumetric activity, natural radionuclides, building materials, energy efficiency of the building, air exchange rate.

*For citation:*

Sidelnikova O. P. [Modern approaches to ensuring radon safety 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], 2024, iss. 2, pp. 200—207. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_200.

*About author:*

**Olga P. Sidelnikova** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 712.25

**Г. А. Птичникова<sup>а,б</sup>, О. А. Антюфеева<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

## **ОБЩЕСТВЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ XXI ВЕКА: ПЕРЕФОРМАТИРОВАНИЕ**

Рассматриваются изменения общественных пространств крупнейших российских городов за первое десятилетие XXI в., связанные с появлением новых форм социальной жизни постсоветского общества. Общественные пространства анализируются с точки зрения их функционирования как социальных структур, мест общения, коммуникации, обменов, взаимодействий. Наиболее ярко названные трансформации наблюдаются в изменении функциональной иерархии общественных пространств. Новым явлением стало повсеместное формирование зон, отвечающих концепции самоидентификации местного городского сообщества, установке знаков-маркеров локальной самобытности и привязанности к истории и культуре конкретной местности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** общественные пространства, город, эволюция, архитектурный облик, функция.

### **Введение**

Общественные пространства являются особой субстанцией, связывающей город и его население, скрепляющей череду сменяющихся поколений. Этот главный элемент градостроительного каркаса сохраняет город не только как функциональное, но и как социальное целое. Понимание ведущей роли в жизни города его общественных пространств и их ценности как конструктора горожанина и его социальной сущности определяет актуальность исследования закономерностей современных архитектурных трансформаций общественных пространств городов.

За последнее десятилетие произошли очевидные изменения общественных пространств современных российских городов, что объясняется появлением новых форм социальной жизни постсоветского общества. Об этом говорят как появившиеся в последние годы публикации отечественных и зарубежных исследователей, посвященные названной проблеме [1—6], так и непосредственные впечатления авторов от поездок в различные города России. *Объектом* исследования стали общественные пространства крупнейших российских городов — региональных центров — Астрахани, Волгограда, Воронежа, Екатеринбурга, Красноярска, Сочи. Таким образом, *целью* настоящей статьи является исследование современных проблем развития общественных городских пространств, вызванных реалиями урбанистической жизни. При этом общественные пространства — площади, парки, набережные, пешеходные зоны, рассматриваются с точки зрения их функционирования как социальных структур, мест общения, коммуникации, обменов и взаимодействий.

В число использованных *методов* входят: натурное обследование, описательный и графоаналитический методы, элементы статистического анализа, исторический анализ.



## Результаты

К началу XXI века система общественных пространств многих российских городов состояла главным образом из наследия советской архитектурно-градостроительной эпохи и отдельных фрагментов исторической городской среды. Общественные городские пространства советского периода можно классифицировать следующим образом:

- центральные площади, предназначенные для проведения официальных парадов;
- площади у общественных и административных зданий;
- общественные парки (типа ЦПКиО) и набережные;
- спонтанные общественные пространства (например, городские пляжи).

Пространства городских и архитектурных ансамблей первых двух типов были созданы для массовых действий и государственных церемоний. Как правило, они имеют большие размеры, поражают своей широтой и простором. Часто им свойственна центричная композиция, которая закреплена высотной доминантой — памятником. При всем своем величии они производят впечатление негостеприимных пространств, не вызывающих желания задерживаться в их границах. Примерами такого типа центральных площадей являются площадь Павших борцов в Волгограде, площади им. В. И. Ленина в Астрахани и Воронеже, площадь Революции в Красноярске. Некоторые из этих площадей до сих пор сохранили образ политической власти (рис. 1).

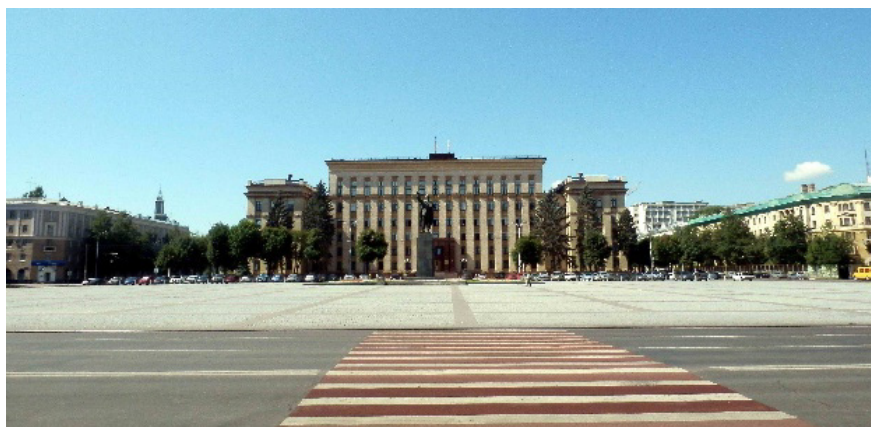


Рис. 1. Площадь Ленина, Воронеж; фото Г. А. Птичниковой

Однако таких замерших в стагнате городских пространств немного. Наоборот, очевидна тенденция переформатирования главных городских площадей, изменения их облика, что, безусловно, связано с общими социальными изменениями. Трансформация сложившихся пространств советской эпохи происходит путем обновления их функционального содержания и связанной с этим десакрализации. Переход от социалистических идеалов к потребительскому обществу обусловил пересмотр содержания символически-знаковых городских пространств. Так, в Астрахани проведена масштабная реконструкция площади Ленина с изменением ее планировки, городского дизайна и скульптурного оформления. В Волгограде на главной площади на месте сквера появился собор Александра Невского, во многом воссоздающий облик

собора, уничтоженного в 1930-х гг. Происходит смена идеологических и политических функций площади на рекреационные, как в Астрахани, или культурные, как в Волгограде (рис. 2).



Рис. 2. Трансформация сложившихся пространств советской эпохи: Сталинград — Волгоград, площадь Павших борцов: *а* — 1954 г.; *б* — 2023 г.; фото К. Заврикова

Архитектор А. Ю. Невзоров, исследовавший площади Москвы, выделил пространствообразующие и пространстворазрушающие функции, часто действующие одновременно и определяющие развитие городской площади [7]. Используя этот подход при исследовании площадей современных российских городов, можно сделать вывод, что судьба центральных площадей определяется в последнее время именно пространстворазрушающими функциями. Многие площади в настоящее время превращаются в парковочные пространства, место, где горожане, не мало не смущаясь, оставляют свои машины (рис. 3). Городское сообщество, как будто не замечая происходящих изменений, совершенно добровольно преобразует место массовых церемониалов и торжеств (социальных акций) в автостоянки (место утилитарного назначения).

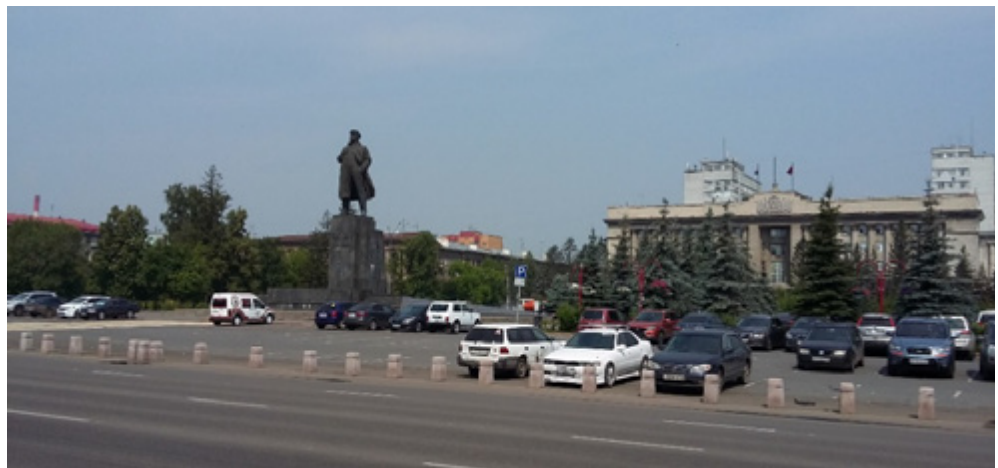


Рис. 3. Автостоянка на площади Ленина, Красноярск; фото Г. А. Птичниковой

В Астрахани желание властей устранить политическое содержание площади Ленина обусловило ее радикальную реконструкцию, приуроченную к 450-летию юбилею города. В советский период площадь Ленина создана по

проекту коллектива архитекторов под руководством В. М. Ананьева также к юбилейной дате в 1958 г. Помимо скульптуры вождя, площадь была украшена фонтанами и имела трибуну для приветственных речей, разобрannую в период перестройки. К 2008 г. площадь Ленина реконструировали с изменением ее архитектурного облика и переменной функции на рекреационную (рис. 4). Основной темой при реконструкции площади выбрана идея близости двух городов Астрахани и Санкт-Петербурга, вследствие чего использовались мотивы обеих «столиц» — северной и каспийской. Вместо клумб и скромных фонтанов на площади разместили героев морской и речной мифологии, скульптуры мальчиков, читающих или наблюдающих за течением ручьев, женские стоящие и лежащие фигуры с кувшинами, купцов с товарами, коней, тритонов, осетров и многое другое. В колоннадах больших круглых фонтанов, расположенных в восточном и западном концах площади, поместились аллегорические женские фигуры Невы и Волги. В продолжение речной темы на главную композиционную ось длиной около 0,5 км «нанизаны» семь малых фонтанов из белого гранита. А над всем этим великолепием возвышаются фигура пролетарского вождя и стены астраханского кремля. Каков же социальный результат всех преобразований? К сожалению, астраханцев редко можно увидеть на этой площади. Символический ряд скульптуры местному сообществу, как выяснилось, непонятен и не близок. Как выразился на форуме один из блогеров: «Площадь превратили в кладбище в центре города». В настоящее время на площади Ленина проходят только торжественные мероприятия, посвященные Дню Победы.

Другим проявлением тенденции разрушения советских общественных пространств можно считать рассмотрение площадей в качестве резервных площадок для нового строительства, понимание их значения как «пустого места». Цель проектов перепланировки в подобных случаях заключается в решении проблемы якобы неиспользуемого и непригодного к использованию (а точнее — к извлечению прибыли) пространства, не имеющего конкретного собственника. Все делается ради того, чтобы место стало бойким, чтобы здесь продавали и потребляли. Как пишет известный российский социолог О. Вендина: «Захват, приватизация и присвоение общественных пространств происходит на всех уровнях общества, включая власть, бизнес и рядовых граждан» [1]. Примеры такого строительного освоения публичных пространств можно найти в каждом городе. Необычайно активно шла застройка «пустых» территорий в Сочи, в городе, где в связи с Олимпиадой—2014 цены на землю и квадратные метры жилья приблизилась к столичным. Одним из значимых для города мест является площадь перед Морским вокзалом, построенным в 1955 г. по проекту К. С. Алабяна. В зоне бассейна видимости этой площади в настоящее время выросли новые жилые комплексы, полностью изменившие городской ландшафт и архитектурный образ исторической площади. Такой новой доминантой, подмявшей под себя окружение, стал многоквартирный 21-этажный жилой комплекс «Красная площадь». В результате изменились архитектурный облик, масштаб и градостроительное значение площади (рис. 5).

В Волгограде можно наблюдать подобный пример захвата сквера на Предместной площади в Центральном районе города под строительство торгово-офисного комплекса (рис. 6).



Рис. 4. Реконструкция площади Ленина, Астрахань; фото Г. А. Птичниковой



Рис. 5. Площадь перед Морским вокзалом, Сочи; фото Г. А. Птичниковой



Рис. 6. МФК на Предместной площади, Волгоград; фото П. Лукашина

Функциональные изменения проявляются также во все большей коммерциализации городских пространств, их аттрактивность используется в качестве «ловушек» для потенциальных покупателей. Сформировавшиеся общественные пространства как место, где собирается множество людей для различных видов социальной активности, рассматривается как потенциальный источник извлечения прибыли (огромный торговый зал, где происходит процесс купли-продажи). Этот тип псевдообщественных пространств — пространств потребления, стал одним из преобладающих в российских городах в постсоветский период. Петербургский социолог А. Желнина пишет, что эти новые форматы, по мере освоения их горожанами, заняли важное место в городской среде, стали точками локализации новых стилей жизни и социальных различий [4].

В социально-пространственной структуре города происходит постепенное вытеснение альтернативных форм торговли (торговых или рыночных площадей) и замещение их унифицированными торговыми центрами и супермаркетами. Таким образом исчезла площадь перед Ворошиловским торговым центром в Волгограде, которая в советский период функционировала как

открытая площадь с фонтаном и маленькими киосками (архитектор А. В. Савченко). Желание извлечения выгоды и контроля над торговой территорией привело к поглощению в процессе реконструкции новым торговым центром всего открытого пространства (рис. 7).



Рис. 7. Функциональные изменения проявляются во все большей коммерциализации городских пространств: Ворошиловский торговый центр, Волгоград:  
*a* — 2005 г.; *б* — 2023 г.

Подобные процессы происходят практически во всех крупнейших российских городах. На первый взгляд, не происходит ничего опасного, поскольку сохраняется качество пространства как публичного, неприватного. Однако на самом деле торгово-развлекательные места становятся «псевдопубличными», поскольку теряются многие важные характеристики общественного места, что приводит к ослаблению интенсивности конкретных форм общественной жизни, исчезновению отдельных видов социальной деятельности и редуцированию публичной жизни до потребления [8]. Иными словами, бывшие общественные пространства как места социальности, трансформируются в пространства потребления [6], создающие иллюзию общности и сходства, принимаемых на веру, которые в свою очередь избавляют от потребности во взаимодействии и общении. Как подчеркивает финская исследовательница О. Ууситало: «Потребители часто пользуются общими физическими пространствами сферы потребления, такими как концертные или выставочные залы, туристские курорты, места для занятий спортом, торговые пассажи и кафе-терии, не вступая ни в какие фактические взаимодействия» [9].

Другие группы общественных пространств такие, как парки или набережные, также переживают в настоящий период переломный период. Одни получают дополнительный импульс для своего развития. Другие, как отмечает А. Ю. Невзоров, угасают вдали от мест общественного притяжения [7], и, в конечном итоге, растворяется само представление об этих территориях как о местах, предназначенных для взаимодействия людей. Вместе с тем факторы развития рекреационных пространств часто выступают в форме их коммерциализации. Примерами таких трансформаций могут быть преобразования, произошедшие с Морской набережной (Променадом) в Сочи, которая превратилась в торговый коридор или «молл», полностью отделивший гуляющих курортников от морских пейзажей торговыми рядами.

Подобным же изменениям подвергся и знаменитый сочинский парк «Ривьера», основанный еще в конце XIX в. известным в то время предпринимателем В. А. Хлудовым. В настоящее время парк выглядит как ярмарка, наполненная многочисленными аттракционами, кинотеатрами, океанариумом, дельфинариумом, которые фактически вытеснили на периферию знаменитые плантации роз. Поляна Дружбы, на которой растут магнолии, посаженные космонавтами и известными политическими деятелями, выглядит чужеродным пятном в ярмарочной атмосфере безудержного потребления развлечений.

Объяснением названных преобразований общественных пространств в наших городах может быть изменение самого российского общества и его требований к пространственной организации социальной активности. Урбанист О. Паченков подчеркивает, что «публичные пространства и общественная жизнь в городах исчезают не потому, что некто приватизирует их в своих интересах или запрещает, а потому, что исчезают те, кому это важно и интересно» [3]. Создается новый тип личности, склонной к ограниченным контактам с другими личностями в определенных (в первую очередь, безопасных) условиях. При внимательном рассмотрении жизни современного города видно, что речь идет не об исчезновении публичной жизни, а о ее реконфигурации при помощи новых возможностей, в т. ч. технологических. Пропадают знакомые нам из XIX и XX вв. образцы публичной жизни, но возникают другие, например, уже не площади, а интернет-кафе, парки и кафе с WiFi-доступом.

В качестве зарождающейся тенденции можно отметить своеобразную «мутацию» зон власти. На смену архитектурно оформленным «партийным» площадям, рассчитанным на массовые действия, парады и марши, приходят репрезентативные зоны нынешней власти, пытающейся продемонстрировать свои гуманистические устремления. Это чаще всего вновь созданные и подвергшиеся радикальной реконструкции зоны отдыха — парки, набережные, пешеходные зоны. В Астрахани, например, появилась новая Центральная городская набережная (рис. 8). По официальной версии пространство решено было сделать более праздничным, нарядным, менее унылым и пустым, чем это было до реконструкции.

Расширяется типология общественных пространств, что проявляется в создании новых зон социальной активности. Потребность в развлекательных функциях выражается в формировании различных камерных рекреационно-игровых пространств. Ностальгическая тяга к собственным корням как протест против универсализации породила средовую концепцию в градостроительстве и широкое распространение архитектуры, замешанной на обращении к историческому прошлому.

Не случайно новым явлением стало повсеместное формирование зон, отвечающих концепции самоидентификации местного городского сообщества, установке знаков-маркеров локальной самобытности и привязанности к истории и культуре конкретной местности [10]. В формировании таких пространств активную позицию занимает скульптура лирико-бытовой тематики и городской дизайн, который становится авторским искусством, сохраняя при этом свои градостроительные, функциональные и социальные значения [2, 11]. Так в Волгограде к 70-летию Сталинградской битвы установлен фонтан «Танцующие дети», напоминающий о довоенном знаменитом фонтане, запечатленном на фотографиях Сталинграда (рис. 9).



Рис. 8. Памятник Петру I на Центральной набережной, Астрахань; фото Г. А. Птичниковой



Рис. 9. Скульптура «Танцующие дети» на Привокзальной площади, Волгоград, 2013; фото Г. А. Птичниковой

Эти тенденции самоидентификации, как отмечает О. Вендина, отвечают требованиям внимательнее относиться к обустройству городской среды, обслуживающей потоки «кочевников глобализации» — бизнесменов и туристов [1]. При этом в расчете на туризм формируется городское пространство, в котором все элементы подлежат экспонированию. В глобальном соревновании между местами для жизни, идущем между городами и регионами, как утверждают многие урбанисты, победят те, кто, помимо функционального и экономического эффекта, в состоянии обеспечить новое эмоциональное качество места, делающее его уникальным [12—14]. Эта потребность в привлекательной среде касается, в первую очередь, общественных пространств — улиц и площадей, парков и бульваров.

### Выводы

Подводя итоги исследования, можно сказать, что кризис традиционных форм общественных пространств не означает их кризиса в целом. В настоящее время происходит переформатирование социально-пространственной структуры крупнейших российских городов — региональных центров [15].

Во-первых, можно отметить трансформации бывших советских официальных публичных пространств и формирование новых, подчеркивающих преемственность досоветских и постсоветских традиций государственности.

Во-вторых, происходит приватизация и коммерциализация общественных пространств, которые современным обществом рассматриваются как «пустые», «ничейные» территории, основное предназначение которых — «быть застроенными».

В-третьих, появляются новые общественные пространства, которые призваны репрезентовать город как удобный для жизни, располагающий большим числом мест для отдыха и позволяющий самоидентифицироваться горожанам как локальное сообщество со своими культурой и традициями.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вендина О. И. Реквием по общественным пространствам Москвы // Архитектурный вестник. 2008. № 2(101).
2. Дуцев М. В. Архитектурно-художественное формирование открытых городских пространств (на примере европейских городов) // Архитектон: Известия вузов. 2012. № 4(40).
3. Паченков О. В. Публичное пространство города перед лицом вызовов современности: мобильность и «злоупотребление публичностью» // Новое литературное обозрение. 2012. № 117.
4. Желнина А. А. «Здесь как музей»: торговый центр как общественное пространство // Laboratorium. 2011. № 2. С. 48—69.
5. Современные общественные пространства как инструмент развития городской среды: Материалы IV межрегиональной науч.-практ. конф. 2022. СПб.: СПбГАСУ, 2022. 386 с.
6. Бауман З. Текучая современность. СПб.: Питер, 2008. 238 с.
7. Невзоров А. Ю. Московские площади конца XX — начала XXI веков: взаимосвязь функций и пространства: автореф. дис. ... канд. арх: 18.00.01, НИИТИАГ РААСН. М., 2007. 25 с.
8. Zukin S. *The cultures of cities*. Oxford: Blackwell, 1995. 322 p.
9. Uusitalo O. *Consumer perceptions of grocery stores*. Jyväskylä: University of Jyväskylä, 1998. 216 p.
10. Нефедов В. А. Качество городской среды как интегрирующий фактор архитектуры, градостроительства и дизайна // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 165—169.
11. Дуцев М. В. Современный город как пространство диалога // Современная архитектура мира. 2012. Вып. 2. С. 221—244.
12. Иванов А. Общественные пространства в Берлине и Москве: сравнение с точки зрения архитектора и горожанина: интервью с Кристофом Лангхофом // Архитектурный вестник. 2008. № 2(101).
13. Етеревская И. Н. Социально-экологические аспекты трансформации открытых общественных пространств современного города // Социология города. 2023. № 1. С. 46—61.
14. Hillier B., Vaughan L. *The city as one thing* // *Progress in Planning*. 2007. Vol. 67. No. 3. Pp. 205—230.
15. Етеревская И. Н., Петрова Л. С. Особенности социально-пространственной трансформации открытых общественных пространств современного российского города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 52(71). С. 175—187.

© Птичникова Г. А., Антюфеева О. А., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.



*Ссылка для цитирования:*

*Птичникова Г. А., Антюфеева О. А.* Общественные пространства российских городов XXI века: переформатирование // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 208—217. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_208.

*Об авторах:*

**Птичникова Галина Александровна** — академик РААСН, д-р архитектуры, проф., консультант каф. основ архитектуры и художественных коммуникаций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ); проф. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ptichnikova\_g@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2629-4225; Scopus ID: 6504749507

**Антюфеева Ольга Алексеевна** — канд. архитектуры, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

**Galina A. Ptichnikova<sup>a,b</sup>, Olga A. Antyufeeva<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Moscow State University of Civil Engineering*

<sup>b</sup> *Volgograd State Technical University*

## **PUBLIC SPACES OF RUSSIAN CITIES OF THE XXI CENTURY: REFORMATING**

The article discusses changes in the public spaces of the largest Russian cities over the first twenty years of the 21st century, associated with the emergence of new forms of social life in post-Soviet society. The author analyzes public spaces from the point of view of their functioning as social structures, places of communication, communication, exchanges, and interactions. The most clearly named transformations are observed in the change in the functional hierarchy of public spaces. A new phenomenon in Russian cities has been the formation of public spaces where sign-markers of local identity and attachment to the history and culture of a particular area are placed.

**Key words:** public spaces, city, evolution, architectural image, function.

*For citation:*

Ptichnikova G. A., Antyufeeva O. A. [Public spaces of Russian cities of the XXI century: reformatting]. *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], 2024, iss. 2, pp. 208—217. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_208.

*About authors:*

**Galina A. Ptichnikova** — Doctor of Architecture, Professor, Academician of RAABS, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; 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, Russian Federation

УДК 711.168

**Н. А. Ястребова, В. В. Романова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПРИНЦИПЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА ПОД ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ**

Статья посвящена изучению тенденций реабилитации промышленных территорий под жилую застройку на прибрежных территориях в границах крупного города. Анализ отечественного и зарубежного проектного опыта выявил четыре главных типа реабилитации городских территорий. Определен ряд факторов, влияющих на формирование комфортной жилой застройки на бывших промышленных территориях. В ходе анализа выявлены основные принципы преобразования бывших промышленных территорий.

**Ключевые слова:** реконструкция, преобразование промышленных территорий, браунфилд, жилой комплекс, селитебная территория, градостроительное проектирование, устойчивое развитие.

Многие современные крупные города характеризуются такими процессами, как переход от индустриального к постиндустриальному обществу, возрастающая урбанизация, увеличение значимости принципов устойчивого развития городов, рост спроса горожан на более комфортную жилую среду. Появление нефункционирующих промышленных территорий во многом связано со сменой экономики региона. Это сопровождается ликвидацией промышленных предприятий или их перемещением за пределы города. Некогда использовавшиеся для промышленного производства земли оказываются заброшенными или нерационально используемыми

Одним из решений данной проблемы является реконструкция бывших постиндустриальных территорий, которые, как правило, находятся в стагнации или нерационально используются. В случае, когда предприятие, находящееся в жилой застройке или в непосредственной близости к ней, не функционирует, а его территория оказывается изолированной в пространственной среде города, возникает необходимость в преобразовании данной территории [1, 2].

Актуальность изучения направлений градостроительной реконструкции промышленных территорий определяется появлением градостроительных проблем, связанных с депрессивной промышленной застройкой, пересмотром стратегий устойчивого развития современных городов и поиском ценных территориальных резервов и направлений перспективного развития, социально-экономическим значением перехода от индустриального к постиндустриальному типу общества.

*Цель работы* — изучение вопросов реконструкции бывших промышленных территорий крупных городов, выявление принципов преобразования данных территорий под жилую застройку в структуре крупного постиндустриального города.

*Задачи работы:*

- анализ методической и нормативной литературы по теме исследования;
- анализ отечественного и зарубежного опыта реконструкции нефункционирующих промышленных территорий под жилую застройку;

- на основе проанализированных методик и практик выявить принципы преобразования бывших промышленных территорий крупных городов.

Теоретическая база исследования опирается на междисциплинарный подход в градостроительном проектировании, связанный с реконструкцией городских территорий. Эмпирическую базу составили действующие законодательные и нормативно-правовые документы в сфере градостроительства, учебные пособия, монографии, публикации в специализированных журналах, материалы научно-практических конференций и проектные материалы. Итогом аналитического этапа стало положение, что полноценная реабилитация городской территории базируется на четырех видах преобразования ее компонентов: реконструкции, реновации, реструктуризации и ревитализации.

*Реконструкция* территорий представляет собой преобразование параметров планировочной структуры (изменения в «теле» города) с целью улучшения градостроительных качеств среды. *Реструктуризация* представляет собой изменение в организационной структуре системы управления городским пространством. *Ревитализация* — процесс «оживления» пространства города благодаря формированию качественной и комфортной среды для жизнедеятельности горожан, вследствие чего происходит укрепление социальных связей и развитие местных сообществ, предоставляется больше возможностей для профессионального и творческого развития. Процесс ревитализации считается одним из трудоемких и трудно исследуемым среди видов преобразования городской среды. Однако он является наиболее устойчивым направлением реабилитации промышленных территорий. *Реновация* подразумевает возобновление процесса развития территорий за счет формирования связей территорий с окружающей средой. Реновация направлена на обменные процессы и предполагает использование внешних источников для своего развития и нивелирование негативных факторов и условий [3, 4].

Выделим типичные предпосылки реабилитации промышленных участков крупных городов.

*Социально-экономические* — переход общества от индустриального типа к информационному, вовлечение более 80 % трудоспособного населения в информационную отрасль экономики, необходимость формирования современной комфортной среды с учетом повышения уровня жизни горожан, необходимость смены местного или регионального имиджа.

*Технические* — упор на развитие инновационных технологий, физический износ производств под воздействием техногенных и других факторов.

*Функционально-планировочные* — неэффективное функциональное использование стагнирующих территорий, обладающих высоким градостроительным потенциалом, сложная планировочная структура города, низкая плотность промышленной застройки, изолированность нефункционирующих промышленных территорий в пространственной структуре города, формирование новой жилой застройки, тесно прилегающей к индустриальным землям, высокий уровень маятниковой миграции.

*Архитектурно-художественные* — низкая архитектурно-художественная и пространственная организация бывших промышленных территорий, моральный износ территории, несоответствие застройки современным архитектурным и техническим требованиям, необходимость восстановления исторической ценности территорий.

*Экологические* — исчерпаемость городских земельных ресурсов, необходимость в восстановлении нарушенных территорий.

На сегодня вопрос преобразования пришедших в упадок промышленных территорий является одним из актуальных в России и требует комплексного подхода [5—7]. Если в индустриальном городе заводы и фабрики являлись градообразующим фактором, то благодаря переходу к постиндустриальному развитию главной смысловой доминантой города становятся технически развитые объекты и объекты сферы услуг, такие как технопарки, кластеры и инновационные центры, не требующие колоссальных земельных ресурсов. Большая часть бывших промышленных территорий является градостроительным наследием эпохи индустриального развития крупных промышленных городов [8—12]. Разработка инновационных стратегий повторного использования промышленных территорий является одной из важных задач в градостроительстве [13—16].

В мировой практике проблема преобразования нефункционирующих промышленных территорий начала набирать обороты в 1970-е гг. Северная Америка и западноевропейские страны стремительно развивались и переходили к инновационному типу экономики, в связи с этим возникала необходимость поиска различных направлений преобразования планировочной структуры промышленных зон. Поскольку со временем предприятия подвергались моральному и физическому износу, архитекторы и градостроители рефункционализировали их под современные общественные, образовательные или жилые функции [17]. Есть несколько подходов адаптации бывших промышленных территорий под современное функциональное использование [18].

Типологический подход — объект делится на различные функциональные части, такие как работа, жилье, отдых, которые впоследствии разбиваются на подгруппы в соответствии с их функцией, что образует иерархию по функциональной значимости.

Технический подход — восстановление и реконструкция объекта с помощью современных и экологических конструктивных решений с учетом современных требований функциональности и эстетики.

Сценарный подход — рассмотрение всех возможных вариантов использования объектов и территории с возможностью дальнейшей трансформации с учетом тенденций развития потребностей пользователей.

Стоит отметить, что при разработке проектов реконструкции промышленных территорий важно создать не универсальную идеальную модель, а отследить социокультурные и градостроительные процессы, проходящие в городской среде [19].

Вопросы, возникающие при создании проектов реконструкции бывших промышленных территорий в крупных современных городах, во многом схожи, и для грамотной реконструкции необходимо рассмотреть примеры отечественной и зарубежной практики проектирования жилых комплексов на нефункционирующих индустриальных территориях.

#### **Жилой комплекс «Садовые кварталы», Россия, Москва**

Жилой комплекс располагается на территории бывшей фабрики «Каучук», построенной по проекту Р. Клейна в начале XX в. Территория находится в Хамовниках, в самом центре Москвы, поэтому имеет хорошие видовые характеристики и обладает высоким градостроительным потенциалом. В 2009 г.

территорию площадью 14 га подготовили под строительство: снесли производственные корпуса, провели комплекс работ по реабилитации участка, сняв грунтовый слой.

Четыре квартала, состоящие в основном из жилых единиц, размещены на плане в форме квадрата, и таким образом образуют пятый квартал, который является центральным элементом застройки и представляет собой общественное городское пространство. Каждый из кварталов имеет закрытую территорию с доступом исключительно для жителей и гостей. Внутренние дворы спроектированы так, что находятся на стилобате, размещенном под жилой частью зданий с доступом для всех пользователей. Обладая разнообразным набором функций, здания заполняют территорию таким образом, чтобы она была одновременно плотной, но в то же время открытой и зеленой.

При проектировании «Садовых Кварталов», архитекторы использовали градостроительно-средовой подход, заключающийся в создании целостной среды обитания с открытыми озелененными пространствами, изолированными дворами, подземной парковкой на 4000 мест, бизнес-центром и школой.

#### **Жилой комплекс на Карла Маркса, Россия, Чебоксары**

Жилой комплекс размещен на территории бывшего электроаппаратного завода, который с начала 2000-х гг. прекратил производство и отдал свои площади под аренду. При создании объемно-планировочного решения архитекторы ориентировались на такие факторы, как ограничение высоты застройки исторической части города до 21 м, а также создание доминанты по оси пр. В. И. Ленина.

Жилой комплекс представляет собой четыре объединенных стилобатом секционных дома переменной этажности, максимально близко расположенных к красным линиям с целью создать просторный внутренний двор. Доминантой комплекса является высотный 17-этажный жилой дом, расположенный по оси пр. Ленина вне зоны ограничения высоты застройки. Жилой комплекс в объеме имеет ступенчатую структуру с повышением этажности к высоте. Объемно-пространственная схема предусматривает размещение подземного паркинга и офисов на уровне земли.

#### **Многофункциональный жилой комплекс на территории Уральского приборостроительного завода, Россия, Екатеринбург**

Многофункциональный жилой комплекс располагается на участке площадью 1,51 га, на котором ранее находился Уральский приборостроительный завод. Территория находится в историческом центре Екатеринбурга, имеет ярко выраженный рельеф и граничит с набережной городского пруда. Территорию окружают важные историко-культурные объекты города, храмы, театры, музеи.

Фасад, выходящий на набережную, совместно с примыкающей исторической застройкой формирует видовую панораму, которая во многом определяет облик Екатеринбурга. Перед архитекторами стояла задача органично вписать новую застройку в квартал с перепадом до 4 м и объединить ее с сохраняемыми строениями.

Архитектурно-планировочное решение жилого комплекса предусматривает размещение на участке жилых корпусов переменной этажности, объединенных двухуровневым подземным паркингом. Первые этажи застройки, выходящей на набережную, заняты нежилыми помещениями. Два корпуса,

6...7-этажной и 13-этажной застройки объединены галерей и двухэтажным объемом.

#### **Жилой комплекс на ул. Орджоникидзе, Россия, Москва**

Жилой комплекс располагается на территории площадью 2,47 га, на которой ранее находились корпуса завода «Станконормаль», производившего гайки и шпильки повышенной прочности. На участке размещены пять 18-этажных жилых башен, в западной части находится частная школа и детский сад, а периметр фланкируют три одноэтажных объема с торговыми помещениями, кафе, общественными пространствами и озелененной кровлей. Первые этажи высоток также предусматривают размещение городских сервисов.

Большое внимание архитекторами уделено благоустройству и озеленению территории. На фасадах в выступающих открытых лоджиях также предусмотрено размещение озеленения.

#### **Жилой комплекс «Западный порт», Россия, Москва**

Многофункциональный жилой комплекс расположен на территории промышленного Западного порта площадью 10,6 га. Рядом с территорией находится важные архитектурные объекты — храм Покрова в Филях и Москва-Сити. Участок ограничен водной артерией, мостом и эстакадой железной дороги. Территория ограждена от железной дороги офисным зданием, которое служит экраном для территории проектирования. Важной градостроительной задачей при проектировании жилого комплекса было не только создание комфортной среды, но и формирование выразительной панорамы берега.

Комплекс представляет собой 5 замкнутых кварталов смешанной этажности, офисный центр из двух башен и благоустроенную набережную шириной 20 м. Внутренние дворы и прибрежная территория изолированы от движения автомобилей, а система мостов над автомобильными проездами позволяет сформировать единый прогулочный променад. Большая часть жилой застройки кварталов имеет высоту зданий 6...7 этажей, что позволяет создать камерные внутренние дворовые пространства.

Фронт застройки вдоль набережной проницаемый, разбит высокими арками, позволяющими раскрыть вид на реку.

Среди недостатков проекта эксперты в области градостроительства отметили изолированность жилого комплекса от остального города, отсутствие единого и непрерывного пешеходного маршрута вдоль реки.

#### **Жилой комплекс «Headliner», Россия, Москва**

Жилой комплекс располагается на месте бывшего мукомольного комбината № 4 напротив «Москва-Сити» с другой стороны от 3-го транспортного кольца. Территория находится в районе «Большого Сити», обладающего развитой инфраструктурой. Территория ограничена железной дорогой, мостом и преимущественно строчной среднеэтажной застройкой 1950—1960-х гг., выходящей на набережную Москвы-реки.

Жилой комплекс представляет собой семь жилых корпусов от 4 до 52 этажей и здание детского сада на 130 мест. Застройку объединяет трехэтажный полуподземный стилобат, на кровле которого располагается территория двора и детского садика. Такое решение позволяет создать приватность жилых пространств. Общественные этажи, на котором находятся офисы и объекты сервиса (–1 и 1-й этажи) отделяют жилую застройку от автостоянки и технических помещений. Архитектурная застройка жилого комплекса име-

ет сложный силуэт с доминантами, разрывами и различной высотой застройки от 11 до 175 м. Архитекторы постарались разнообразить застройку за счет высоты зданий и отделки фасадов, при этом жилой комплекс выглядит целостно и органично.

#### **Жилой квартал Het Funen (Funenpark), Амстердам, Нидерланды**

Территория бывших портовых сооружений и складов имеет треугольную форму. Участок расположен вдоль железной дороги на границе центральной части города XIX в. и восточного портового района XX в. Жилой комплекс, формирующий связь этих территорий, добавляет в городскую мозаику современную архитектуру XXI в.

Осознавая ценность территории, была поставлена задача разработать концепцию городского планирования, сочетающую в себе проживание и работу в центре города с обширной территорией озеленения. В результате архитекторы создали гибридную классических градостроительных концепций. При проектировании жилого квартала, свободного от автомобилей, архитекторы руководствовались принципом синтеза открытых зеленых пространств, понижающих жилую застройку, создания у жителей ощущения проживания в парке. Именно поэтому здесь отсутствуют четкие разграничения частных и публичных территорий.

Внутренняя территория представляет собой парковое пространство с десятью разнообразными точечными жилыми домами средней этажности. Офисное здание, размещенное по периметру участка с востока и юга, служит экраном для защиты внутривортовой территории от шума железной дороги и трассы.

#### **Жилой комплекс Søhesten («Морской конек»), Орхус, Дания**

Жилой комплекс располагается в районе, в котором некогда находились станции для грузовых поездов и склады. Сейчас эта местность преобразована в новый современный культурный район под названием «Aarhus C». Располагаясь неподалеку от кольцевой автодороги, жилой комплекс представляет собой цепочку из нескольких объемов переменной этажности, которая повышается в северо-восточном направлении, образуя ряд террас на крыше, ориентированных на юго-восток, и обладающих хорошими видовыми характеристиками.

Здание, состоящее из нескольких блок-секций от 4 до 10 этажей, имеет вытянутую форму, соответствующую форме длинного узкого участка. Объемно-планировочное решение жилого комплекса выполнено таким образом, что за счет повышения этажности соединяет районы малоэтажной индивидуальной застройки и современной многоэтажной застройки.

Анализ мировой практики реконструкции промышленных территорий под жилую застройку выявил основные градостроительные особенности проектирования:

- учет градостроительных особенностей прилегающей застройки;
- создание многофункциональной застройки;
- формирование плотной застройки;
- градостроительно-средовой подход при проектировании, интеграция проектируемой застройки в существующую пространственную среду;
- формирование иерархии общественных и частных пространств;
- создание объектов социальной инфраструктуры, обслуживающих данную территорию;

- раскрытие застройки в сторону природных или рекреационных составляющих городской среды;
- формирование застройки с учетом речного фасада города;
- сохранение основной планировочной структуры и формирование дополнительных функциональных связей;
- проектирование с целью дальнейшего развития прилегающих территорий.

Таким образом, целью территориальной реабилитации в настоящее время является улучшение качества городского пространства, а, следовательно, повышение уровня жизни горожан. Суть данного действия заключается в максимально эффективном использовании возможностей территорий, обеспечении их устойчивого развития, повышении конкурентоспособности и развитии социально-экономического потенциала.

Полное изменение функционального назначения территории, внедрение новых функций является одним из ведущих направлений по преобразованию бывших промышленных территорий. Такой метод реконструкции возможен только при участии местных органов власти в проекте преобразования промышленной территории в жилую и общественную городскую среду [18].

Изучение отечественного и зарубежного опыта реконструкции постиндустриальных территорий показывает, что наиболее актуальна данная проблема для крупных городов. Представленные проекты являются положительными примерами преобразования бывших промышленных территорий, поскольку они соответствуют современным требованиям города и потребностями жителей.

По результатам исследования сформулированы следующие *принципы реабилитации индустриальных территорий* с учетом системного подхода к организации комфортной жилой среды:

1) *социальная интеграция* среды — приоритет общественных интересов, включение разнообразных групп населения, предоставление доступного и качественного жилья для различных социальных групп, формирование пространств для отдыха и досуга;

2) *пространственная интеграция* в существующую пространственную среду — формирование единого функционально-планировочного, ландшафтно-композиционного и природно-экологического каркаса урбанизированных территорий с учетом существующей градостроительной ситуации, типологических особенностей участка, расположения транспортно-коммуникационных осей и модулей прилегающих территорий;

3) *рациональное многофункциональное зонирование* — интеграция рекреационных и обслуживающих функций в планировочную структуру, обеспечение наличия в жилой застройке различных функциональных зон, таких как коммерческая и социальная инфраструктура, зоны для отдыха и развлечения жителей, с учетом разнообразных социальных групп;

4) *гармонизация среды* — гармоничное вписывание новой застройки в архитектурные и исторические рамки города с учетом местной традиционной архитектуры и культуры, обеспечение новых эстетических качеств и формирование неповторимого облика территории;

5) *гибридность среды* — проекты реконструкции должны быть гибкими и адаптивными, предусматривать возможность расширения, модернизации



или перепланировки застройки в будущем с учетом дальнейших изменений потребностей и нужд пользователей;

б) принцип «модульной реконструкции» — соразмерность планировочных компонентов экологической и ландшафтной системам места, эффективное использование имеющихся ресурсов, выявление природного потенциала территорий, а также их регенерация с целью создания качественной и благоприятной жилой среды, рекультивация зоны застройки, внедрение экологических материалов, конструкций и технологий, локализация производственной деятельности.

Таким образом, в ходе исследования предложено шесть принципов градостроительной реабилитации и развития бывших промышленных территорий с учетом современных тенденций и потребностей горожан. Выявленные основные принципы направлены, прежде всего, на преодоления «советского» типа освоения прибрежных территорий и их качественное преобразование.

Статья фиксирует общую тенденцию тотальной смены характера урбанизации, обусловленной особенностями рыночной экономики и изменением базовых источников капиталовложений в градостроительстве и территориальном планировании. Развитие современных постиндустриальных городов или локальных территорий все чаще зависит от частных инвестиций, заинтересованных в получении наиболее выгодного и быстрого коммерческого эффекта. Тенденция деиндустриализации городской территории сопровождается стремительным заполнением освобождающихся площадей востребованными современными жилыми комплексами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Macek D., Dobiáš J. Buildings renovation and maintenance in the public sector // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 85. Pp. 368—376.
2. Loures L. Post-industrial landscapes as drivers for urban redevelopment: Public versus expert perspectives towards the benefits and barriers of the reuse of post-industrial sites in urban areas // *Habitat International*. 2015. No. 45. Pp. 72—81.
3. Фролов С. С. Градостроительная реконструкция прибрежных промышленных территорий крупнейших городов: на примере г. Волгограда: автореф. дис. ... канд. архит. М., 2005. 26 с.
4. Демидова Е. В. Проблемы реабилитации городских пространств // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2. С. 52—56.
5. Золотых М. А. Реновация промышленных зон в современных условиях города // *StudArcticForum*. 2017. Т. 2. № 6. С. 33—46.
6. Етеревская И. Н., Стеценко С. Е., Ястребова Н. А. Основные проблемы и пути реновации прибрежных территорий современного города // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 3(88). С. 300—313.
7. Гайдук А. Р. Реновация промышленных объектов и адаптация индустриальных зон городов к современным условиям (на примере г. Казань) // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 4(38). С. 83—88.
8. Grigoryan A., Manvelyan Z., Sargsyan E. Reuse strategy and management models for abandoned industrial areas. A case study in Yerevan // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences. 2024. Vol. 475. Pp. 02011.
9. Zhang Y. C., Feng L., Li X. Z. Discussions on the Potential, Function and Reconstruction Method of Landscapes in Urban Industrial Wasteland // *Advanced Materials Research*. 2010. Vol. 129. Pp. 675—679.
10. Li H. W., Lui W. B. Sustainable reuse of derelict industrial area buildings—case studies in Taiwan, Japan, and Germany // *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2014. Vol. 5. Iss. 1. Pp. 75—83.

11. *Ахромеева А. А., Иванова Н. В.* Реновация промышленных зон города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 315—328.
12. *Donnarumma G., Fiore P., Sicignano E.* A model for the reuse of disused tanneries // A case-study for the definition of the intervention criteria : proc. of the 2nd Int. Conf. on Advances in Civil, Structural and Construction Engineering. USA, 2015.
13. *Марчукова А. И., Матовников С. А., Гагулина О. В.* Тенденции реорганизации бывших промышленных территорий в крупнейших городах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 329—337.
14. *Bennet R. M., Ang A. H.-S.* Formulation of structural systems reliability // Journal of Engineering mechanics. 1986. Vol. 112. Iss. 11. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(1986)112:11(1135).
15. *Rybakova D. S., Fedotov A. S.* Refunctionalisation as one of the main aspects of rehabilitation of urban areas disturbed by industrial activities // Urban construction and architecture. 2019. Vol. 9. Iss. 3. Pp. 143—150.
16. *Sugden E.* Adaptive reuse of industrial heritage buildings: a multi-research approach. Waterloo, Ontario, Canada, 2017. 140 p.
17. *Ахмедова Е. А., Кудеров Л. Л., Ахмедов Х. А.* Проблемы пространственной реорганизации промышленных зон в крупнейших городах (на примере города Самары) // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. 2018. № 21. С. 111—117.
18. *Карасев Р. О., Денисенко Е. В.* Реорганизация промышленных территорий и архитектурных объектов с учетом адаптивных процессов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 2(52). С. 177—186.
19. *Caniato M., Gasparella A.* Discriminating People's Attitude towards Building Physical Features in Sustainable and Conventional Buildings // Energies. 2019. Vol. 12. Iss. 8. Pp. 1—27.

© Ястребова Н. А., Романова В. В., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

*Ястребова Н. А., Романова В. В.* Принципы преобразования индустриальных территорий города под жилую застройку // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 218—227. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_218.

Об авторах:

**Ястребова Наталья Александровна** — канд. архитектуры, доц. каф. градостроительства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; yas\_na71@mail.ru

**Романова Валерия Вадимовна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-0677-2872; romanova.volgograd@gmail.com

**Natalia A. Yastrebova, Valeriya V. Romanova**

**Volgograd State Technical University**

## **PRINCIPLES OF TRANSFORMATION OF ABANDONED INDUSTRIAL AREAS FOR RESIDENTIAL DEVELOPMENT IN THE STRUCTURE OF A MODERN CITY**

The article is devoted to the study of trends in the rehabilitation of industrial territories for residential development in coastal areas within the boundaries of a large city. The analysis of domestic and foreign project experience has revealed four main types of rehabilitation of urban areas. A number of factors influencing the formation of comfortable residential buildings in former industrial areas have been identified. During the analysis of the design experience, the basic principles of the transformation of former industrial territories were revealed.

**Key words:** reconstruction, reuse of industrial area, brownfield, residential complex, residential area, urban planning, sustainable development.

*For citation:*

Yastrebova N. A., Romanova V. V. [Principles of transformation of abandoned industrial areas for residential development in the structure of a modern city]. *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], 2024, iss. 2, pp. 218—227. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_218.

*About authors:*

**Natalia A. Yastrebova** — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yas\_na71@mail.ru

**Valeriya V. Romanova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0677-2872; romanova.volgograd@gmail.com

УДК 711.4-168

**Ю. Б. Колышев<sup>а</sup>, И. В. Шевчук<sup>б</sup>, Т. В. Виноградов<sup>а</sup>, Я. В. Доказов-Высоцкий<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

## **АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Статья посвящена исследованию колористических решений дошкольных организаций. Изучены проблемы проектирования, строительства и модернизации дошкольных организаций, предложены методы их решения и обозначены перспективы развития. Проанализированы современные тенденции и перспективы развития в отечественной и зарубежной практиках.

**Ключевые слова:** дошкольные образовательные организации, колористические решения, гармоничное развитие.

За прошедшие десятилетия наметилась тенденция к увеличению населения нашей страны. В результате возрастает число детей дошкольного возраста, что влечет за собой увеличение строительства объектов дошкольных учреждений (ДУ) с учетом модернизации и реконструкции уже существующих. Современное строительство дошкольных зданий и сооружений требует появления перспективного направления проектирования, новой модели архитектурно-планировочных и градостроительных объемов, что определяет актуальность данного исследования.

*Цель исследования* включает в себя анализ колористических решений ДУ с учетом перспективных решений градостроительного размещения на территории застройки, существующих отечественных и зарубежных тенденций возведения данных объектов.

Данная цель базируется на решении следующих *задач*:

- определение перспективных направлений по реконструкции, проектированию, архитектуре и планировке зданий ДУ;
- предложение актуальных колористических решений при проектировании дошкольного сегмента;
- анализ проектирования ДУ на современном этапе.

При написании работы изучались основные пособия и нормативно-рекомендательные акты, посвященные проектированию дошкольных образовательных организаций [1—5]. Работа также основана на публикациях И. И. Комаровой [6], А. А. Шапиро и А. В. Лебедева [7], Е. Г. Трибельской [8], А. Л. Гельфонда [9], Н. Поповой [10], Н. В. Серова [11] и анализе зарубежных источников [12—20].

Рассмотрены современные подходы к проектированию ДУ в европейской практике и в отечественной. В качестве примера предлагается ознакомиться с проектом детского сада, построенного в районе Грисхайм-Зюд на окраине столицы центрально-немецкой земли Гессен — г. Франкфурта-на-Майне (рис. 1). Для создания устойчивого развития финансовой столицы Германии, в целях повышения благосостояния ее жителей городские власти предложили новую программу современного строительства, одним из фраг-

ментов которой стало возведение показательного детского сада. Для работы над объектом были приглашены проектные фирмы с мировым именем и зодчие из разных стран мира — Arup Associates и др. В указанной программе речь идет не о том, чтобы осваивать новые территории под городскую застройку, а о включении в городскую палитру единичных сооружений среди уже существующих объектов. Муниципалитет решил возводить несколько типов детских садов с дневным посещением. Известно, что существующий тип ДУ очень привлекателен для жителей городских образований, т. к. помогает решать демографические проблемы Франкфурта-на-Майне [1, 2].



Рис. 1. Грисхайм на карте

В программе развития города зафиксировано положение о том, чтобы при проектировании детских садов закладывалась возможность использования данных объектов в качестве внешкольных учреждений для детей, обучающихся в начальных классах. После занятий школьники делают здесь уроки, отдыхают, играют и ждут родителей с работы. Таким образом городские власти успешно используют опыт социальных служб Советского Союза по воспитанию и обучению дошкольников и учащихся начальных классов. Данное ДУ работает с двойной функцией, занимаясь приемом и обслуживанием малышей и решая задачи учебно-воспитательного плана для школьников начальных классов [3].

Северный фасад здания, выходящий на автобан, имеет минимум оконных проемов, южный, обращенный к зеленой зоне лесопарка, — открыт, рядом с ним находятся детские площадки, которые хорошо видны из учебных, воспитательных, игровых комнат. Здание имеет 2 этажа, площадь 1850 м<sup>2</sup>. На

первом этаже располагаются 3 больших помещения для дошкольников. На втором этаже для школьников начальных классов запроектированы два вида помещений, где можно отдохнуть, заняться уроками и поиграть (рис. 2). Данные помещения включают мастерские, многофункциональный зал и др. Здание проектировалось с учетом санитарных, педагогических, криминологических и др. требований [4, 5].



Рис. 2. Колористические решения второго этажа здания

Логичны и просты объемно-планировочные решения здания. Высота и ширина объемов комнат возрастает от главного входа, одновременно идет повышение кровли сооружения, создавая образ повышающего здания. В комнатах, где располагаются санузлы и умывальные, освещение поступает через стеклоблоки синего цвета, имитирующие морскую поверхность. Триада, включающая в себя обучение, воспитание и игру, подана архитекторами в виде окон кухни представляющих собой огромную букву «К», высотой в 2 этажа. В помещении двери расположены парой: выше и шире для взрослых и ниже и уже для детей. Яркоокрашенные двери в сантехнических помещениях способствует усилению воображения и пробуждению детской фантазии (рис. 3). На полу известной авангардистской группой «Стиль» выполнены графические изображения для побуждения детей к различным развивающим играм и занятиям по восприятию плоскости и объема [6].

Ценность идеи строительства такого детского сада в том, что архитектурный облик здания воспринимается положительно родителями и их детьми, которым нравится играть, учиться, общаться, они легко в нем ориентируются.

Население Франкфурта-на-Майне восприняло этот детский сад как основу для последующих проектов ДУ будущего, способствующих устойчивому развитию немецкого общества [7].



Рис. 3. Интерьер здания на первом этаже

Разнообразие условий строительства и способов эксплуатации детских садов в различных регионах нашей страны требует дифференцированного подхода в определении различных архитектурных типов детских садов и детских комбинатов. Основным и общим при этом должно быть соответствие архитектурно-планировочного решения педагогическим и гигиеническим требованиям, обеспечивающим успешную воспитательную работу с каждой отдельной группой детей [8—10].

Детские сады и комбинаты различаются:

- по количеству детских мест;
- по расположению — в отдельных зданиях или встроенные в здания другого назначения;
- в зависимости от местных условий — климатических и бытовых;
- по назначению и составу помещений;
- по этажности;
- как самостоятельные или объединенные с другими детскими учреждениями.

Основные виды ДУ в зависимости от расположения:

- в отдельно стоящих самостоятельных зданиях;
- встроенные в здания другого назначения, в жилые дома [11].

При размещении ДУ в жилых кварталах или микрорайонах, а также в реконструированных кварталах крупных городов возникают затруднения, связанные с отсутствием свободных участков. Нередко приходится сносить жилые помещения или сокращать площади озеленения, используемые ранее для игр детей. Строительство осложняется тем, что в условиях городской застройки приходится сочетать многоэтажные жилые дома с небольшими по этажности зданиями детских садов и комбинатов [12].

На практике часто возводятся двухэтажные детские сады и комбинаты, преимущества которых в нашей стране и за рубежом не оспариваются при соблюдении педагогических и санитарно-гигиенических требований. Непосредственная связь групповых комнат с участком и площадкой, возможность

устройства открытых террас и веранд позволяют обеспечить правильную работу с детьми на воздухе. Примеры строительства таких детских комбинатов наглядно демонстрирует их преимущество [13—15].

При возведении новых детских комбинатов предлагается усилить объемно-колористическое решение части фасадов, за которыми расположены различные возрастные группы [16].

Дети проводят длительное время в групповой и игровой комнатах, и характер использования этих помещений требует создания спокойной цветовой среды. Поэтому для окраски стен желательно использовать светлые теплые тона. Красный или оранжевый могут вызывать эмоциональный подъем, активность и придать помещению более жизнерадостную атмосферу. Эти цвета будут особенно полезны в игровых и творческих зонах, где дети проводят большую часть времени. Однако стоит осторожно использовать яркие и насыщенные цвета, такие как красный или желтый, в больших количествах, т. к. они могут вызывать чувство беспокойства и раздражения у детей. Прохладные и спокойные цвета — голубой и зеленый, могут создавать атмосферу расслабления, помогать детям успокоиться и снять нервное напряжение. Они идеально подходят для спальных помещений или зон отдыха, где нужна спокойная и умиротворенная атмосфера. Важно найти баланс и создать гармоничное сочетание цветов, сделать помещение привлекательным и комфортным для детей.

Например, для детей младшей группы нужно использовать только один цвет в качестве контрастного решения из цветовой гаммы с дополнением геометрических фигур, простых для детского восприятия (рис. 4). Интерьер помещений данной группы может включать настенное пластическое изображение любимых игрушек (шара, пирамиды, мяча, кубиков) [17].

Детей средней группы порадует полутонные решения фасада, включающие приглушенные цветные пятна, полосы, квадраты, горизонтальные и вертикальные линии и т. д. (рис. 5). Игровые и спальные комнаты привлекут внимание детей простыми узнаваемыми изображениями цветов, рыб, птиц, животных, овощей и фруктов [18].



Рис. 4. Интерьер детского сада в Ноймаркт-ам-Валлерзе, Австрия





Рис. 5. Колористические решения детского сада, район Щукино, Москва

Часть фасада помещения для старшей группы детей отводится под цветовую композицию, включающую нюансные отношения гаммы цветов различных предметов в виде натюрморта, узнаваемых марок машин и пр. Интерьер комнат призван решать задачу показать богатую палитру красок (теплые тона, холодные тона и их сочетания). Глядя на стены комнат, дети будут узнавать любимых персонажей из книг, детских песенок и сказок, мультфильмов (рис. 6). Ведь детский сад — это одна из составных частей познания ребенком окружающего пространства, объясняющая взаимосвязь простого и сложного, настраивающая на его положительное восприятие, создающая условия для гармоничного развития [19, 20].



Рис. 6. Пример колористического решения интерьера детского сада

*Научная ценность* исследования определяет элементы экспериментального проектирования дошкольных учреждений с учетом колористических решений, использованием богатой палитры цветов для экстерьеров и интерьеров разработанных объемов.

*Практическая ценность* заключается в том, что возведение ДУ с учетом предлагаемых колористических направлений способствует пробуждению интереса ребенка к окружающему его пространству при помощи цветовой гаммы и изображений предметов в экстерьере и интерьере помещений, соответствующих возрастной группе, настраивает на позитивное восприятие мира в целях гармоничного формирования личности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сербинович П. П.* Архитектура гражданских и промышленных зданий. Гражданские здания массового строительства: учебник для строительных вузов. М. : Высшая школа, 1975. 319 с.
2. *Ветров П. Г., Гуцев А. А.* Строительство каркасно-панельных школ и детских учреждений: опыт Ленинграда. М., Л. : Изд-во литературы по строительству, 1967. 141 с.
3. Пособие по проектированию интерьера детских яслей — садов / О. А. Барханова, Ю. П. Филенков, Н. Н. Цетинина, Г. Б. Маркизова, Н. М. Браиловская, Н. В. Михеева. М. : Стройиздат, 1982. 120 с.
4. Зодчество мира / Архитектура и строительство России. 2003. № 1. С. 34—38.
5. *Арнхейм Р.* Искусство и визуальное восприятие. М. : Прогресс, 1974. 384 с.
6. *Комарова И. И.* От архитектуры детского сада к школьной архитектуре: Анализ современных зарубежных практик в условиях смены образовательного уклада // Современное дошкольное образование. 2020. № 2(98). С. 14—27.
7. *Шапиро А. А., Лебедев А. В.* Рекомендации по проектированию сети и зданий детских внешкольных учреждений для г. Москвы. Вып. 3. Детско-подростковые клубы. М. : Москомархитектура, 1998. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003453>.
8. *Трибельская Е. Г.* Детский сад на 120 мест: учебно-методическое пособие. М. : МГАХИ им. В. И. Сурикова, 2017. 31 с.
9. *Гельфонд А. Л.* Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений: учебное пособие. М. : Архитектура-С, 2006. 280 с.
10. *Попова Н.* Цвет в интерьере детских садов // Дошкольное воспитание. 1998 № 4. С. 30—31.
11. *Серов Н. В.* Эстетика цвета. Методологические аспекты хроматизма. СПб. : ФПБ — ТОО «БИОНТ», 1997. 64 с.
12. *Dudek M.* Architecture of Kindergarten. Taylor & Francis, 2001. P. 3.
13. *Mazzanti G.* El Porvenir Social Kindergarten. URL: [https://www.archdaily.com/89896/el-porvenir-social-kindergarten-giancarlo-mazzanti?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_projects](https://www.archdaily.com/89896/el-porvenir-social-kindergarten-giancarlo-mazzanti?ad_source=search&ad_medium=search_result_projects).
14. Kindergarten Sighartstein // Kadawittfeldarchitektur. 2009. URL: [https://www.archdaily.com/34252/kindergarten-sighartstein-kadawittfeldarchitektur?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_projects](https://www.archdaily.com/34252/kindergarten-sighartstein-kadawittfeldarchitektur?ad_source=search&ad_medium=search_result_projects).
15. Kindertens // 70°N Arkitektur. 2006. URL: <https://www.archdaily.com/6267/kindertens-70%25c2%25ban-arkitektur>.
16. Sanmen Dafu Kindergarten // Think Logic Design. 2019. URL: <https://www.archdaily.com/931646/sanmen-dafu-kindergarten-think-logic-design>.
17. The Paradise of Color // Atelier Alter. 2016. URL: <https://www.archdaily.com/802726/the-paradise-of-color-atelier-alter>.
18. The Heights Building // Bjarke Ingels Group. 2019. URL: <https://www.archdaily.com/927336/the-heights-building-big>.
19. The Noor e Mobin G2 Primery School // FEA Studio. 2017. URL: <https://www.archdaily.com/911483/the-noor-e-mobin-g2-primery-school-fea-studio>.
20. *Munsell A. H.* A color notation. Baltimore, 1941. 74 p.

© Кольшев Ю. Б., Шевчук И. В., Виноградов Т. В., Доказов-Высоцкий Я. В., 2024

Поступила в редакцию  
в феврале 2024 г.

**Ссылка для цитирования:**

Колышев Ю. Б., Шевчук И. В., Виноградов Т. В., Доказов-Высоцкий Я. В. Архитектурно-художественные решения при проектировании дошкольных образовательных организаций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 228—235. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_228.

**Об авторах:**

**Колышев Юрий Богданович** — проф., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; tango7912@gmail.com

**Шевчук Ирина Вячеславовна** — студентка, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4; iria.shevchuck@yandex.ru

**Виноградов Тимур Владимирович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; hg.tukan@gmail.com

**Доказов-Высоцкий Ярослав Владиславович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; hardyarik@yandex.ru

**Yurii B. Kolyshev<sup>a</sup>, Irina V. Shevchuk<sup>b</sup> Timur V. Vinogradov<sup>a</sup>,  
Yaroslav V. Dokazov-Vysotsky<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

## **ARCHITECTURAL AND ARTISTIC SOLUTIONS IN THE DESIGN OF PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

The article is devoted to the study of coloristic solutions of preschool institutions. The problems of design, construction and modernization of preschool institutions are studied, methods of their solution are proposed and prospects for development are outlined. The current trends and prospects of development in domestic and foreign practices are analyzed.

**К е у w o r d s:** preschool buildings, coloristic solutions, harmonious development.

**For citation:**

Kolyshev Yu. B., Shevchuk I. V., Vinogradov T. V., Dokazov-Vysotsky Ya. V. [Architectural and artistic solutions in the design of preschool educational institutions]. *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], 2024, iss. 2, pp. 228—235. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_228.

**About authors:**

**Yurii B. Kolyshev** — Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tango7912@gmail.com

**Irina V. Shevchuk** — Student, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU). 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; iria.shevchuck@yandex.ru

**Timur V. Vinogradov** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; hg.tukan@gmail.com

**Yaroslav V. Dokazov-Vysotsky** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; hardyarik@yandex.ru

УДК 747; 725.5

*Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко, А. В. Казакова*

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИГРОВОГО ПРОСТРАНСТВА В СОВРЕМЕННЫХ ДЕТСКИХ ЦЕНТРАХ**

Рассмотрены проблемы проектирования игрового пространства детских центров как учреждений для детей и подростков, которые помогают детям вырабатывать навыки взаимодействия с социумом, развивают таланты и повышают интеллект. В связи с этим особенно важно создать внутри интересную архитектурную среду, необычные умные игровые пространства, развивающие ребенка и создающие привлекательный образ детского центра. Необходимо создание подходящих к функции помещения цветовой, световой, тактильной сред. Эта задача требует от дизайнера грамотного владения всем арсеналом архитектурно-художественных средств. Сегодня вопросы проектирования игровых пространств в детских центрах решаются проектировщиками стихийно, без опоры на научно подкрепленную базу. Цель статьи — проанализировать цвет, свет и форму в интерьере как основные архитектурно-художественные средства при проектировании игрового пространства, показать возможности их влияния на психоэмоциональное состояние ребенка. Описаны современные приемы создания интерактивного игрового пространства, инновационные архитектурно-художественные методы проектирования. Сделаны общие выводы о важности грамотного использования всего арсенала архитектурно-художественных средств при проектировании игрового пространства.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** дружелюбная архитектурная среда, умное игровое пространство, цветовой климат, тактильность, сомасштабность, интерактивность.

### **Введение**

Сегодня при проектировании городских общественных объектов актуальна тема проектирования современных инновационных детских центров. Концепция умного города напрямую связана с растущими и изменяющимися потребностями городского населения в организации свободного времени, обучении и развитии подрастающего поколения и пр. [1]. Детские игровые центры, в которых спроектированы дружелюбная, сомасштабная ребенку архитектурная среда и умное игровое пространство, смогут стать хорошим «полигоном», на котором городской ребенок будет учиться взаимодействовать со сложным архитектурным пространством. Городские детские развивающие игровые центры пользуются большим спросом у населения, т. к. в них ребенок может посещать различные кружки по интересам, а также подготовиться к школе. В раннем возрасте ребенок наиболее активно воспринимает и запоминает новую информацию, в это время закладываются основы для дальнейшего развития. Детские центры способствуют приобретению новых навыков, обучению взаимодействию со сверстниками и взрослыми. Здесь ребенок может узнать, как правильно вести себя в коллективе, найдет новые, необычные увлечения. Большим преимуществом таких организаций является нахождение ребенка в небольшой группе из 6...10 чел., поэтому ему уделяется достаточно внимания преподавателем или аниматором. Также одним из плюсов детского центра является то, что на занятиях могут присутствовать родители, что очень важно для ребенка раннего возраста. Пока он знакомится с окружающей обстановкой и другими детьми, он чувствует себя комфортно, за-

щищенно и не испытывает лишнего стресса. На занятиях для младших групп в детских развивающих центрах родители принимают участие в учебном процессе, помогают ребенку с заданиями. Это дает родителям возможность лучше узнать своего ребенка. В старших группах, где занимаются дети от 5 лет, их можно уже оставлять на попечение преподавателей.

В течение занятия ребенок чередует умственную активность с физической. Он может попробовать себя в разных видах деятельности, начиная от изучения букв и развития художественных навыков до танцев и песен или даже в специальных науках, таких как химия, ботаника и т. д. Занятия проходят в игровой форме, в веселой и динамичной обстановке, ребенку предлагается выполнить ряд простых и интересных заданий с перерывами на отдых, это помогает сохранять его интерес к занятию. Все занятия включают в себя несколько предметов: элементы математики, чтения, музыки, танцев, географии, а также различные изобразительные искусства. Во время запоминания нового материала дети находятся в движении либо сидят на мягких подушках, это позволяет создать комфортную обстановку и помогает лучше усваивать новый материал. Часто уроки проходят в форме сказки или небольшого представления, где в роли педагогов выступают сказочные персонажи. Обязательно проводится спортивная разминка, когда дети могут прыгать на батутах, играть с мячами, танцевать или преодолевать препятствия.

Для разнообразных занятий особенно важно создать внутри детского центра интересную архитектурную среду, необычные умные игровые пространства, развивающие ребенка и создающие привлекательный образ детского центра [2—6]. Рассмотрим примеры интерьеров детских развивающих игровых центров и детских садов в отечественной и зарубежной практике.

Детский сад в г. Винь, Вьетнам (рис. 1) состоит из нескольких помещений, кухни, крытых и открытых игровых площадок, спортивного центра и плавательного бассейна, имеет творческие пространства — художественные классы, музыкальную комнату, библиотеку. Детский сад включает в себя пространства, настраивающие детей на проявление любознательности, активное изучение окружающего мира и прямое взаимодействие с природой. Интерьеры комплекса выполнены в светлых пастельных тонах, в основном используются натуральные цвета — зеленый, бежевый, серый.

В учебных классах и библиотеке используется зеленый цвет, т. к. считается, что зеленый цвет обладает успокаивающим действием на психику, помогает воспринимать и усваивать большой объем информации, способствует повышению внимания и концентрации. Таким образом, в помещениях с этим цветом ребенок будет внимательно и сосредоточенно слушать и меньше отвлекаться на внешние раздражители.

Бежевый цвет помогает нейтрализовать негативные эмоции, тревогу и чувство незащищенности, настраивает на спокойную атмосферу и комфорт, вызывает теплые чувства. В создании интерьеров для этого детского сада использовались натуральные материалы: дерево, стекло, экологичные краски и камень.

Если рассматривать формы, то в основном используются волнообразные, плавные линии. Главный холл оформлен с использованием параметрической стены, колонн и потолка. В остальных помещениях на потолках и в мебели используются округлые формы, это делает пространство более спокойным и приятным для детей. Таким образом соблюдены принципы цветового

и светового комфорта, тактильные ощущения от форм в интерьере приятные и максимально дружелюбные. Все это создает расслабленную и спокойную атмосферу детского центра.



Рис. 1. Детский сад в г. Винь, Вьетнам

Детский сад «Калейдоскоп», г. Тяньшуй, Китай (рис. 2) имеет несколько особенностей. Первая заключается в использовании десяти различных цветов для основного элемента дизайна. Основной элемент — это витражные цветные стекла. В солнечную погоду, когда свет проникает в помещения, он образует разноцветные пятна, создавая необычную и даже волшебную атмосферу, что благоприятно влияет на воображение детей, развивая их творческие способности. Вторая особенность заключается в том, что все проемы в детском саду арочные. На создание арок дизайнеров вдохновили традиционные жилища народов Китая. Помимо дверных проемов в форме арок различных размеров выполнены также окна, они расположены в хаотичном порядке по всему зданию, что делает его еще более необычным. Третья особенность — здание построено в виде атриума, главный холл окружен классными комнатами. Здание оснащено системой кондиционирования и подогрева полов, что позволяет функционировать и обеспечивать комфорт в любое время года. Стекланный потолок над трехэтажным атриумом пропускает естественный свет. За счет игры света, благодаря разноцветным стеклам атриум изменяет свой облик практически каждую минуту, напоминая огромный калейдоскоп, меняющий узоры и цвет.

Рассмотрим влияние цветов на психику детей. В данном интерьере основным цветом является белый — он благоприятно влияет на ребенка, создает ощущение чистоты, помогает в общении. Белый цвет обычно нейтрален и не создает яркую эмоциональную окраску, он служит базой для других цветов. Красный настраивает детей на активность, улучшает умственные способности. Желтый цвет вызывает чувство спокойствия и гармонии, повышает настроение, внимание, помогает концентрироваться. Зеленый цвет настраивает ребенка на учебу, повышает интерес к окружающему миру, повышает уверенность. Оранжевый цвет способствует творческой активности и энергичности, создает ощущение уверенности и комфорта. Голубой цвет действует успокаивающе. Таким образом, дизайнеру особенно важно продумывать цветовой климат как помещения в целом, так и отдельных его зон [7—9]. При помощи ярких цветов, заливающего света и динамичных форм проектировщики создали активное, стимулирующее игровое пространство.

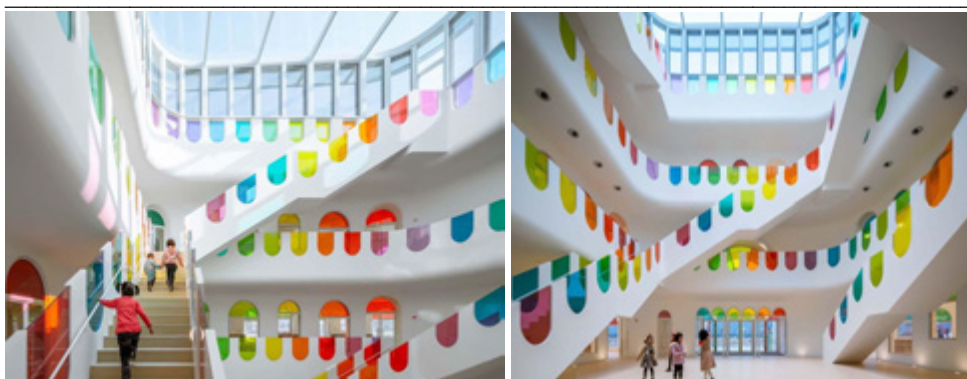


Рис. 2. Детский сад «Калейдоскоп», г. Тяньшуй, Китай

Детский сад «Варшавское шоссе, 141», г. Москва, Россия (рис. 3) — его главная особенность в том, что окна на втором и третьем этажах выполнены в образах различных морских существ. Это создает необычную архитектурную среду. На первом этаже расположен корпус для детей младшей возрастной группы, он имеет панорамное остекление. Остекление во внутреннем дворе детского сада имеет разноцветные стеклянные вставки, что создает игру света при попадании солнечных лучей. Интерьер детского сада минималистичный, преобладает белый цвет, однако в каждом учебном кабинете имеются цветовые акценты: желтые, синие и красные.



Рис. 3. Детский сад «Варшавское шоссе, 141», Москва, Россия

Желтый цвет в интерьере — цвет гармонии, радости и умиротворения. Он поднимает настроение, настраивает на приятную и теплую атмосферу, в которой легче сконцентрироваться. Цвет благоприятно влияет на восприятие окружающего мира, стимулирует память. Синий — холодный, успокаивающий цвет, вызывает чувство комфорта и удовлетворения. Красный цвет — стимулирующий, повышает активность, усиливает концентрацию. В данном детском саду при постройке использовались натуральные материалы — дерево, стекло, экологичные краски. Планировка здания выполнена в виде атриума, имеется главный холл, из которого попадают в учебные и досуговые комнаты. В целом пространство выглядит максимально свободным и открытым, что достигается использованием большого количества белого цвета, заливающего освещения и простых лаконичных форм в интерьере.

Еще одна игровая площадка — «Лес-паутина», Япония (рис. 4). Развлекательная площадка находится на открытом воздухе в парке. Все яркие элементы декора созданы вручную. Дети могут карабкаться по веревочным «веткам» и «деревьям», качаться на качелях и прыгать на радуге. «Паутина» изготовлена из прочного материала, не травмирует кожу, обеспечивает полную безопасность и способна выдерживать большой вес. Разноцветная сетка сделана таким образом, что позволяет находиться на ней большому количеству детей. Несмотря на сложную конструкцию и яркие цвета в игровом пространстве довольно легко ориентироваться за счет заливающего света и контрастного белого решения пола и потолка.



Рис. 4. Игровая площадка «Лес-паутина», Япония

«ЛЕГОленд Дискавери Центр», Берлин, Германия (рис. 5). Берлинский «ЛЕГОленд» — это огромный парк развлечений и игр для детей и взрослых. На площади 3500 м<sup>2</sup> находится 16 различных тематических зон, в каждой из которых можно играть, заниматься творчеством, а также собирать различные фигуры из конструктора. Главная особенность парка в Берлине — отдел «МиниЛенд». Это подробная миниатюра столицы Германии, выполненная из конструктора Lego. Общая площадь миниатюры 50 м<sup>2</sup>, на ней расположены все достопримечательности немецкой столицы. В зоне «Пиратский бассейн» находятся пиратские корабли с дистанционным управлением. Ими можно атаковать побережье, цель атаки — попасть в жерло вулкана для включения спецэффектов. Это современный вариант тира для детей. В отделе «Фабрика



ЛЕГО» детям показывают процесс изготовления конструктора. Можно наглядно увидеть, как изготавливают детали, подробно узнать все о пластике, из которого конструктор состоит. Также для детей создан аттракцион «Крепость Дракона» (см. рис. 5, *а*). Детям предложено прокатиться на «драконьем поезде» и осмотреть красивые сказочные пейзажи, которые сделаны из конструктора. Основная идея парка развлечений заключается в том, что все декорации созданы из конструктора, дети могут разглядывать интересные постройки, наполненные мелкими деталями, каждый раз замечая что-то новое.



*а*



*б*

Рис. 5. «ЛЕГОленд Дискавери Центр», Берлин, Германия:  
*а* — «Крепость Дракона»; *б* — ЛЕГО-комната

В парке имеется ЛЕГО-комната (см. рис. 5, *б*), где ребенок может творить сам, начиная от сбора машинок, заканчивая различными зданиями и животными. Ребенок лично может поучаствовать в создании декораций для всего парка ЛЕГОленда. Здание парка «Дискавери Центр» выполнено в виде атриума. Интерьеры представлены в сказочном стиле, детали отделки и декор выполнены из конструктора Lego, в интерьерах размещены ЛЕГО-

инсталляции в виде различных зданий, животных и пейзажей. Этот игровой центр демонстрирует, как грамотно работать с разными масштабами формы в интерьере. Здесь использованы как сомасштабные ребенку, так крупно- и мелкомасштабные формы. Все это напрямую связано с функциональным назначением и создает интересное и дружелюбное игровое пространство.

Важным аспектом создания игрового пространства сегодня становится эффект интерактивности, при котором архитектурная среда вступает во взаимодействие с посетителем, реагирует на его движения, температуру, голос и пр. [10—13]. Рассмотрим некоторые примеры использования интерактивности в пространстве общественного интерьера. Студентами А. Кастелло и М. Монгиат в южной части Лондона создан проект Gamelan Playtime, представляющий собой сенсорную стену (рис. 6), которая вслед за движением рук проходящего человека, воспроизводит музыкальные записи со звуками необычных инструментов, человеческих голосов, песен. Работа сенсоров основана на бесконтактном управлении.



Рис. 6. Сенсорная стена Gamelan Playtime вслед за движением рук проходящего человека воспроизводит музыкальные записи

В Кливлендском музее искусств фирмой Power Group организована экспозиция Gallery One. Проект состоит из ряда интерактивных объектов. В инсталляции экспозиции интегрированы различные системы, которые вписаны в сценарий экспозиции. Информация поступает от 173 источников — от сенсорных стен и столов до планшетов. Бесшовные мультитач-панели с возможностью распознавания объектов позволяют создавать уникальные по взаимодействию концепции. Основа интерактивной поверхности — профессиональная плазменная или ЖК-панель с вандалоустойчивым покрытием экрана и сенсорная система. Интерактивные столы и терминалы используются для навигации по музейному пространству, визуализации разных типов данных и для подачи информации в игровой форме (рис. 7).

Широкое распространение получили комплексные системы, обладающие «нервной системой» из чувствительных принимающих, сканирующих устройств — сети нейронно-электронных связей с мощным обрабатывающим ядром. Р. Глинн сконструировал пространство, которое оснащено множеством встроенных датчиков и компьютерным управлением. Оно реагирует на происходящее внутри него и взаимодействует со своими обитателями. Стены помещения выполнены из гибкого и прочного латекса, который позволяет «вживленным» манипуляторам менять его форму. Сложная электроника и

десятки датчиков отслеживают поведение визитера, обеспечивает его взаимодействие с пространством обратной связью (Reciprocal Space), изменяет форму стен, их изгиб и наклон (рис. 8).



Рис. 7. Интерактивные столы и терминалы используются для навигации по музейному пространству Gallery One



Рис. 8. Reciprocal Space изменяет форму стен, их изгиб и наклон

Hello I/O — одна из немногих компаний, которые создают проекты в сфере иммерсивных технологий по всему миру [14, 15]. Это комплексные интерактивные пространства и отдельные интерактивные зоны, парки развлечений смешанной реальности, мультимедийные инсталляции. Иммерсивные технологии — новая ветвь технологических разработок, особенностью которой является эффект погружения человека в цифровую среду. В Hello I/O используют эти технологии, чтобы обучать и дарить людям новые впечатления. Среди первых в компании был проект к Олимпиаде в 2014 г. — специальный автомат выдавал бесплатный проездной в метро за 30 приседаний. Одно из направлений Hello I/O — технология Phygital (от physical — психика и digital — цифровой) [16]. Оно совмещает в себе цифровые технологии и физическое взаимодействие: цифровая среда реагирует на движения и голос человека (рис. 9).

Приведенные примеры показывают лишь часть возможностей применения интерактивных технологий при проектировании общественных пространств. Задача проектировщика детского развивающего центра состоит в том, чтобы определить, какие интерактивные технологии целесообразны для детей. Однако наличие интерактивных элементов не гарантирует того, что помещение станет интерактивным. Эти элементы влияют на реализацию проекта, но на первом месте стоят цель и уровень взаимодействия. Анализ примененных интерактивных решений позволяет предположить, что взаимодей-

ствие игрового пространства и человека будет носить все более выраженный характер. Проектируя интерактивное игровое пространство, разработчики смогут значительно расширить его функции, обогатить арсенал выразительных архитектурно-художественных средств, объединяя вместе движение, звук, цвет, свет и форму в интерьере. Интерактивность позволяет создавать умное игровое пространство, которое взаимодействует с ребенком и является максимально полезным для его развития и обучения.

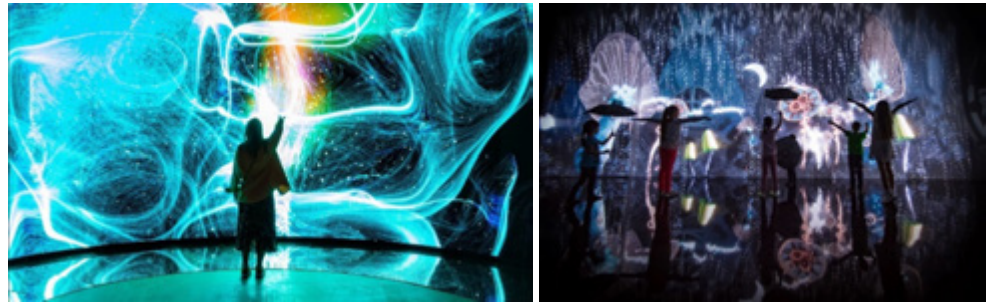


Рис. 9. Интерактивная технология Phygital в интерьере

### Выводы

Важно учитывать возможности влияния цвета, света, формы в интерьере на психоэмоциональное состояние ребенка. В игровом пространстве необходимо создать подходящий к функции помещения цветовой климат — яркий и стимулирующий в активных зонах, спокойный и расслабляющий в тихих зонах. Свет должен быть в основном заливающим, чтобы помочь ориентироваться в пространстве.

Формы следует использовать соразмерные детскому телу, но возможна игра с масштабами, тактильные ощущения от формы в интерьере — приятные и неагрессивные. В целом игровое пространство максимально предполагается создавать дружелюбным ребенку. Кроме того, необходимо продумать интерактивные объекты.

Игровое пространство современного детского центра должно быть необычным и интересным, перемещать посетителей в сказку или в мир приключений. Необычные объекты внутри игрового пространства можно рассматривать и трогать, в каждом уголке должны находиться объекты, привлекающие внимание, чтобы такой интерьер не оставил равнодушными посетителей.

Задача проектирования игрового пространства в современных детских центрах требует от дизайнера владения всем арсеналом архитектурно-художественных средств.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антюфеев А. В., Птичкинова Г. А.* Умный город, архитектура и человек // *Социология города.* 2019. № 2. С. 6—13.
2. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В.* Дизайн интерьера. Оборудование в интерьере: учебное пособие. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2018. 119 с.
3. *Онищук А. Г.* Актуальность и особенности проектирования современных интерьеров досуговых центров // *Академическая публицистика.* 2020. № 4. С. 525—431.

4. *Горошко Ю. П., Матовников С. А., Волков В. С.* Современные приемы художественной организации игровой среды развлекательных центров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 130—141.
5. *Матовникова Н. Г., Матовников С. А.* Влияние декоративного освещения интерьера на восприятие фактуры его объектов и поверхностей // Архитектурно-художественное образовательное пространство будущего: сб. матер. междунар. науч.- метод. конф. Ростов-н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2015. С. 182—184.
6. *Матовников С. А., Борзенко С. Е., Картавцева Я. С.* Дизайнерские аспекты оптимизации среды жилой детской комнаты с учетом гендерного и количественного факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 157—164.
7. *Бузина А. С., Ковалева Е. О.* Важность влияния цвета в интерьере общественных помещений на психоэмоциональное состояние человека // Наука, студенчество, образование: актуальные вопросы современных исследований: сб-к статей. Ч. 1. Пенза: Наука и Просвещение, 2022. С. 185—189.
8. *Матовников С. А., Мамышева С. А.* Приемы использования оптических иллюзий в интерьере // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 293—303.
9. *Nielson K. J., Taylor D.* Interiors. McGraw-Hill Education, 2010. 528 p.
10. *Makridakis M., Holland M. J.* Awaken Your Interior Designer. ImagineQuest Information Products Inc, 2003. 328 p.
11. *Lowell C.* Seven Layers of Design: Fearless, Fabulous Decorating. Crown Publishing Group, 2005. 176 p.
12. *Barkhuus L., Jorgensen T.* Engaging the Crowd-Studies of Audience-Performer Interaction. In Proc. CHI'08: ACM Press, 2008. Pp. 2925—2930.
13. *Eriksson E., Hansen T.R., Lykke-Olsen A.* Movement-based interaction in camera spaces: a conceptual framework. Springer-Verlag London Limited, 2006. Pp. 1—12.
14. *Ludvigsen M., Veerasawmy R.* Designing technology for active spectator experiences at sporting events // OZCHI '10 Proceedings of the 22nd Conference of the Computer-Human Interaction Special Interest Group of Australia on Computer-Human Interaction. ACM New York, NY, USA, 2010. Pp. 96—103.
15. *Petersen M. G.* Interactive Spaces — Towards a Better Everyday? // In Interactions. 2005. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 44—45.
16. *Wearstler K.* Evocative Style. Rizzoli, 2019. 256 p.

© *Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Казакова А. В., 2024*

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Казакова А. В.* Проблемы проектирования игрового пространства в современных детских центрах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 236—246. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_236.

*Об авторах:*

**Матовникова Наталья Геннадьевна** — канд. географ. наук, доц., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [matovnikova@yandex.ru](mailto:matovnikova@yandex.ru)

**Самойленко Полина Васильевна** — доц., старший преподаватель каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [polasam@yandex.ru](mailto:polasam@yandex.ru)

**Казакова Анастасия Владимировна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

---

**Natal'ya G. Matovnikova, Polina V. Samoylenko, Anastasia V. Kazakova**

**Volgograd State Technical University**

## **PROBLEMS OF DESIGNING PLAY SPACE IN MODERN CHILDREN'S CENTERS**

The problems of designing the play space of children's centers as institutions for children and adolescents that help children develop skills of interaction with society, develop talents and increase intelligence are considered. In this regard, it is especially important to create an interesting architectural environment inside, unusual smart play spaces that develop the child and create an attractive image of a children's center. It is necessary to create color, light, and tactile environments suitable for the function of the room. This task requires the designer to have a competent command of the entire arsenal of architectural and artistic means. Today, the issues of designing play spaces in children's centers are solved by designers spontaneously, without relying on a scientifically backed base. The purpose of the article is to analyze color, light and shape in the interior as the main architectural and artistic means when designing a play space, to show the possibilities of their influence on the psycho-emotional state of a child. Modern methods are described.

**Key words:** architectural environment, play space, color climate, installation, innovation, interactive environment.

*For citation:*

Matovnikova N. G., Samoylenko P. V., Kazakova A. V. [Problems of designing play space in modern children's centers]. *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], 2024, iss. 2, pp. 236—246. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_236.

*About authors:*

**Natal'ya G. Matovnikova** — Candidate of Geographic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikova@yandex.ru

**Polina V. Samoylenko** — Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polasam@yandex.ru

**Anastasia V. Kazakova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 74.01/.09

**З. М. кызы Расулова**

*Азербайджанский архитектурно-строительный университет*

### **СЛЕДЫ ТРАДИЦИИ СРЕДНЕВЕКОВОГО ДЕКОРА В СОВРЕМЕННОЙ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА БАКУ)**

Статья рассматривает историю Средневековья в контексте азербайджанской культуры, сосредотачиваясь на богатстве, разнообразии и уникальных чертах декоративного искусства в архитектуре этого периода. Автор исследует особенности декора и строительства, применяемые материалы и влияние различных архитектурных школ на средневековую и современную архитектуру Азербайджана. Анализируются детали и элементы декора в современных и старинных зданиях, иллюстрируется их влияние на архитектурные композиции и подчеркивается сочетание традиционных элементов с современными тенденциями.

**Ключевые слова:** архитектура, искусство декора, архитектурные школы, стиль, орнамент, традиция.

#### **Введение**

История Средневековья в азербайджанской культуре всегда привлекает внимание благодаря ее богатству, полноте и разнообразию [1]. Богатая архитектура памятников этого периода, а также декоративное оформление, принципы строительства и используемые строительные материалы оставили значительный след в каменной памяти нашей истории.

Средневековая азербайджанская архитектура привлекает не только своей уникальностью, но и важностью для понимания развития современной азербайджанской архитектурной сцены. Изучая особенности декоративного искусства архитектурных школ, существовавших в средневековом Азербайджане, можно увидеть, как уникальные материалы и цветовые решения каждой из этих школ отражают различные принципы их воплощения в экстерьере и в интерьере [2].

Современная азербайджанская архитектура продолжает развиваться с учетом наследия средневековой эпохи, принимая и влияние современных мировых архитектурных течений. В частности, в г. Баку, столице Азербайджана, можно выделить два основных направления в архитектурном стиле. Первое направление основано на классической Ширванской архитектурной школе, которая сохранила свою актуальность и влияние [3]. Второе направление отражает европейское влияние, которое стало особенно заметным в период с XIX по XX вв. в контексте развития Баку. В этот период город претерпел значительные изменения и стал выразительным символом богатой архитектурно-исторической эпохи.

Отечественные и иностранные инвестиции в нефтедобычу в Баку, параллельно с экономическим подъемом, оказали влияние на развитие архитектурной сферы. Строительство новых парков, площадей и величественных зданий содействовало активному развитию архитектурной индустрии, скорость строительства значительно увеличилась.

*Цель* данного исследования заключается в сравнении и анализе этих двух основных архитектурных направлений и их влияния на современное азербайджанское искусство декора. Автор стремится выявить, какие аспекты средневековой азербайджанской архитектуры и декоративного искусства сохраняют актуальность в современном контексте и какие новые элементы и влияния стали характерными для архитектуры Баку.

В рамках данного исследования поставлены следующие задачи:

- провести анализ ключевых черт Ширванской архитектурной школы и их влияния на современное азербайджанское искусство декора;
- исследовать европейские влияния в азербайджанской архитектуре и их роль в формировании современного облика Баку;
- проанализировать соотношение между наследием средневековой азербайджанской архитектуры и современными тенденциями в архитектурной сфере с целью выявления уникальных черт и вклада азербайджанской культуры в мировое архитектурное наследие.

#### **Основная часть**

В начале прошлого века в городских зданиях, построенных в основном во времена нефтяного бума в Азербайджане, при сохранении традиционных черт появилось множество новых. Такие здания включали в себя жилые дома, усадьбы, доходные дома, общественные здания, банки, театры и другие сооружения.

Примером такого архитектурного развития можно назвать дом Иса-бея Гаджинского (1912 г.), который находится недалеко от Девичьей башни (рис. 1, а). Это великолепное пятиэтажное здание совмещает три архитектурных стиля: готику, барокко и модерн. Несмотря на использование характерных для времени его строительства элементов, в композиционную структуру фасадных поверхностей дома внесены особые детали, соответствующие средневековым архитектурным традициям.

Эти особенности включают: симметричную композицию здания, применение тщательно обработанного камня для облицовки, создание рельефных фасадов с учетом светотеневых эффектов, горизонтальные разделения между этажами и многие другие элементы. Также в декоративном оформлении здания можно выделить такие детали, как парадный вход, арочная система, колонны, эркеры в виде созвездий, карнизы и бордюры вокруг оконных проемов, использование орнаментальных полос, а также синей плитки на подоконниках и краях балконов [4]. Все эти детали отражают характерные черты Ширванской и Тебризской архитектурных школ, умело демонстрируют сочетание современных архитектурных трендов с традиционными элементами.

В качестве еще одного примера такой архитектурной роскоши можно упомянуть здание Союза архитекторов Азербайджана, построенное в 1899 г. по заказу бакинского миллионера Агабалы Гулиева. Это здание по адресу ул. М. Мухтарова, 24, разработано польским архитектором Я. Я. Скибинским в национально-романтическом стиле. Здесь выделяется симметричная композиция, отсылающая к средневековым архитектурным элементам. Рельефные фасады, покрытые качественным камнем, обильно украшены декором. Заметны полукупольные, арочные, и сталактитовые ризалиты (выступающие части здания), которые напоминают порталы дворцового комплекса Ширваншахов и создают интересное декоративное оформление главных и боко-



вых фасадов. Верхние части тимпанов всех арочных, колонных окон и дверных проемов украшены растительным орнаментом. По длине оконных ниш в их нижних частях можно увидеть прямоугольные рамы с поверхностным растительным орнаментом [5]. Создается впечатление, что узкие карнизные полосы с горизонтальным растительным орнаментом между этажами держатся на кронштейнах. Переход к простой крыше в готовой части здания создает интересную архитектурную композицию с мельчайшими деталями (рис. 1, б).



Рис. 1. Образцы архитектуры в Баку XIX—начала XX вв.: *а* — дом Иса-бея Гаджинского, 1912 г.; *б* — дом Агабалы Гулиева, 1899 г., архитектор Я. Я. Скибинский

В упомянутых выше архитектурных произведениях, украшающих Баку, представлено уникальное слияние европейской архитектурной традиции с азербайджанской на протяжении последних 30...40 лет XIX—начала XX вв. [6]. Однако после периода, известного как «советский» 1920—1930-х гг. XX в., бакинская архитектура предоставляет нам больше «жемчужин» средневекового декоративного искусства [7]. Этот период совпал с творческой активностью выдающихся художников Сиявуша Дадашева и Микаеля Усейнова, чьи уникальные произведения оставили неизгладимый след в истории азербайджанской культуры.

У этих архитекторов есть множество проектов, сочетающих современные и традиционные средневековые характеристики декоративного искусства, воплощенные в зданиях. Можно упомянуть такие знаковые сооружения, как Национальный музей азербайджанской литературы им. Н. Гянджеви, Национальная академия наук Азербайджана, Азербайджанская национальная библиотека им. Мирзы Ф. Ахундова, павильон Азербайджанской ССР на ВДНХ, Азербайджанский технический университет, кинотеатр «Низами», здание Государственного телеграфного агентства «Азер Тадж», резиденцию «Лиманчи» на ул. М. Гусейна, жилой дом Союза «Бузовнанефть», а также Дом ученых и др. (рис. 2).

С. Дадашов и М. Усейнов неоднократно в своих работах обращались к национальным архитектурным элементам и культуре декора. Их работы от-

личаются точным ритмом, идеальными соотношениями, органичностью форм, размеров, пропорций, масштаба, фактуры и цветовых решений. Эти архитекторы внесли значительный вклад в развитие архитектуры XX в. [8, 9].



*а*



*б*



*в*

Рис. 2. Архитектура Азербайджана 1930—1940-х гг.: *а* — павильон Азербайджанской ССР на ВДНХ, Москва, 1939 г.; *б* — Национальный музей азербайджанской литературы им. Н. Гянджеви, Баку, 1945 г.; *в* — жилой Дом ученых, Баку, 1946 г.

Из созданных ими величественных памятников внимание привлекает проект павильона Азербайджанской ССР на Московской ВДНХ 1939 г., который выделяется своим богатым декором. В облицовке этого прямоугольного памятника, представляющего стиль сталинской архитектуры с этническими мотивами, использовался мрамор. Высота доминирующего двухколонного

портала главного фасада составляет 16 м, его поверхность украшена элементами, вдохновленными Ширванской архитектурной школой. Окна в фасадной композиции были украшены витражной сеткой, состоящей из геометрических частей, что придавало архитектурному памятнику изящество (см. рис. 2, а).

Еще один образец творчества этих архитекторов — Национальный музей азербайджанской литературы им. Н. Гянджеви, посвященный 800-летию Низами Гянджеви и открытый 14 мая 1945 г. (см. рис. 2, б). На этом архитектурном памятнике внимание привлекают цветная плитка и растительный орнамент. Его узоры по своим цветовым характеристикам очень близки к архитектурной школе Тебриза [10]. С другой стороны, элементы декоративного оформления напрямую отражают особенности растительных узоров Ширванской архитектурной школы [11]. В целом архитектурные проекты того времени, вплоть до середины XX в., демонстрируют свежий взгляд на искусство декора и внимание к сохранению традиций, особенно в отношении отдельных элементов зданий

В 1950—1960-е гг. традиции азербайджанской архитектуры и градостроительства развивались в подчинении особым нормам советской архитектуры. Азербайджанские архитекторы обогатили свой опыт благодаря глубокому изучению и усвоению историко-архитектурного и художественного наследия. Они создали многообразные художественные архитектурные объекты, сочетающие и прогрессивные, современные, и традиционные черты. Одним из важных аспектов архитектурного строительства стала попытка совмещения национальных архитектурных черт с методами иных архитектурных школ. В этом контексте декоративные элементы приобрели гармоничный облик, олицетворяющий исторические образцы классической архитектуры [12].

Архитектура советского Азербайджана, преобладающая в дизайне жилых домов, использовала декоративные элементы, которые черпали художественное вдохновение из средневековой архитектуры. Этот процесс обогатил визуальный облик современного Баку за счет жилых и общественных зданий, построенных вокруг города-крепости [13].

Архитекторы использовали в проектах жилых домов синтез традиционных и современных архитектурных концепций, демонстрируя верность культурному наследию, богатство и разнообразие художественной и архитектурной идентичности Азербайджана, создав изящные композиционные формы с использованием различных средств декора.

Большинство жилых домов искусно сочетают традиционные декоративные элементы национальной архитектуры и уникальные черты классической архитектуры. Декоративные элементы придают фасадам жилых домов художественный акцент [14]. Декоративные элементы играли ключевую роль в формировании фасадных композиций, при этом соблюдались все функциональные нормы.

В массовом строительстве, характерном для развивающегося Баку в 1940—1960-е гг., здания выделялись не только простотой, характерной для новой эпохи, но и техническими решениями в области декора, которые одновременно решали функциональные и конструктивные задачи и придавали зданиям художественную и эстетическую ценность [15]. Арочные балконы, карнизы и другие элементы оригинальной формы часто обеспечивали особую

выразительность симметричному композиционному облику этих объектов. Множество объемных барельефов, укрепленных разнообразными кронштейнами, великолепно передавали игру света и тени, подражая облику южных жилых домов. Визуальное восприятие фасадов усиливалось благодаря витражным решеткам оконных ниш и изящному дизайну балконных перил. Традиционные декоративные элементы средневековой архитектуры так искусно использовались в оформлении жилых домов, что и сегодня эта практика остается актуальной и имеет высокую художественную ценность [16].

В целом декоративное искусство Азербайджана осталось верным архитектурным традициям, включая средневековую резьбу по камню. Путем изучения этой резьбы в контексте традиционных архитектурных школ азербайджанское декоративное искусство продолжило использование этой древней практики в новых архитектурных формах в XIX—XX вв., а также во вновь созданных архитектурных произведениях этого периода. Влияние средневекового декоративно-прикладного искусства регулярно прослеживается во всех работах М. Усейнова до 1960—1970-х гг.

В 1970—1990-х гг. в архитектуре Советского Азербайджана наблюдалось минимальное использование декоративно-прикладных элементов. Этот период характеризовался массовым строительством панельных и блочных зданий, в которых мало места уделялось искусству декора. Декоративные элементы можно увидеть в виде интерпретаций и отдельных деталей в отдельных зданиях, но нельзя сказать, что архитектура того времени проявила себя в оформлении зданий.

Примером может служить 13-этажный корпус Азербайджанского архитектурно-строительного университета, созданный польским архитектором Л. И. Гонсиоровским. В этом великолепном здании следы декора присутствуют лишь на рельефной проекции заднего фасада, расположенной симметрично относительно центра этажей. Здесь можно увидеть повторяющийся мотив слова «Аллах», выполненный арабскими буквами куфического стиля в оттенках серого цвета. Этот декор отличается от современных материалов облицовки фасада (рис. 3)

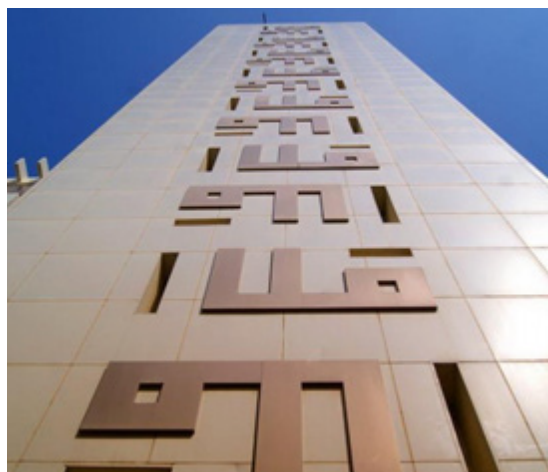


Рис. 3. Корпус I Азербайджанского университета архитектуры и строительства, Баку, 1970—1980-е гг.

Азербайджанская архитектура XXI в. стремительно развивается, проявляясь в современных архитектурных образах. В них преимущественно используется стекло и металл, причем они часто выступают как замена каменным материалам. Это обусловлено попыткой увеличить соотношение высоты зданий и сэкономить земельные ресурсы в период мирового строительного бума, что оставляет небольшое место для элементов декора в современном архитектурном искусстве. Время от времени в современной архитектуре можно заметить использование декоративных деталей в оформлении интерьеров, проходов, заборов и фасадов входных частей зданий [17] (рис. 4).



*a*



*б*

*в*

Рис. 4. Образцы архитектуры XXI в.: *a* — новый терминал аэропорта им. Г. Алиева; *б* — ресторан «Кошебаси», Нахчыван, гостиница «Саат Мейдани»; *в* — внутренняя отделка бара, Исмаиллы, гостиница Baskal Resort & Spa

В Азербайджане в XXI в. наблюдается возрождение декоративного искусства [18]. В последние годы внимание уделяется архитектуре, которая продвигает современный дизайн с использованием передовых материалов [19]. Так, новый терминал аэропорта имени Г. Алиева представляет собой современную бионическую форму, но его крыша украшена полигональными

декоративными узорами (рис. 4, *a*). Архитекторы стремятся внести элементы традиционного декора в современное искусство.

Сегодня искусство декора редко встречается в современных городах мира, но для Азербайджана оно остается актуальным. Декоративное искусство становится функциональным элементом, учитывающим климатические особенности и необходимость защиты фасадов. Вместо использования бионических и комбинаторных форм, архитекторы обращаются к традиционным декоративным элементам [20]. Наблюдается развитие декоративного искусства в современных солнцезащитных конструкциях фасадов, которые функционируют уже много лет.

Декоративное искусство в XXI в. в Азербайджане продолжает развиваться благодаря работе ряда архитекторов, которые не боятся его использовать, видя его ценность для классической архитектуры. Ведь восточные мотивы встречаются и в элементах античных карнизов, колонн и других деталях европейской традиционной архитектуры [21].

Только в Азербайджанском музее ковра, в самой современной форме и с использованием современных материалов, представлены полигональные геометрические элементы декора, характерные для нахчыванской архитектурной школы. Музей ковра, отвечающий всем современным требованиям, построен в 2014 г. в Приморском национальном парке по проекту австрийского архитектора Ф. Янца.

Какое будущее ожидает искусство декора в азербайджанской архитектуре? Сегодня нет оснований беспокоиться, что азербайджанское декоративно-прикладное искусство будет забыто. В архитектуре, в творчестве наших зодчих оно всегда находит свое место. Возможно, в приоритете стоят современные общественные здания, офисы и социальные центры, выполненные из бетона, стекла и металла. Тем не менее, в мелких деталях экстерьеров, в оформлении интерьеров применяются специальные декоративные элементы и узоры. Не затрагивая общий облик городов, таких как Баку, Гянджа, Нахчыван, Габала, декоративные детали, вдохновленные средневековыми архитектурными школами, подчеркивают внешний облик и внутренние пространства современных зданий, используя при этом современные материалы. В современной световой и цветовой палитре они придают зданиям еще более выразительный вид.

Основные аспекты, связанные с искусством декора в азербайджанской архитектуре, касаются преимущественно его сочетания с современными материалами и конструкциями [22]. Это является важной характеристикой современной азербайджанской архитектуры. Необходимо отметить, что чем современнее архитектура, тем больше она сохраняет элементы средневекового декора в азербайджанском стиле и применяет классические формы в современных зданиях. Можно с уверенностью сказать, что азербайджанские архитекторы по-прежнему обращаются к произведениям средневекового декоративно-прикладного искусства [23].

Примерами такого подхода могут служить мавзолей Низами, построенный в XIII в. и восстановленный архитекторами Ф. Имамгулиевым и Г. Сукадиновым с использованием мрамора, мавзолей Г. Джавида, который, несмотря на свои небольшие размеры, включает в себя декоративные элементы, являющиеся доминирующей частью его композиции. Еще одним приме-

ром может служить декоративная композиция на здании Фонда Г. Алиева, включающая геометрические орнаменты в прямоугольных рамах. Этот декор придает зданию особый характер и интересный внешний вид, особенно при подсветке в ночное время [24]. Фасад также имеет декор на подоконниках и сталактитовых капителях колонн [25].

Наши профессиональные архитекторы и ученые-исследователи выполняют значительную работу по сохранению традиций и особенностей декора средневековой архитектуры Азербайджана.

### **Выводы**

Данное исследование сосредоточено на важных аспектах влияния средневековой азербайджанской архитектуры на современное искусство декора, особенно в контексте г. Баку. За многие века архитектурные шедевры Средневековья в Азербайджане образовали богатое и разнообразное наследие, которое не только продолжает привлекать внимание, но и оказывает значительное влияние на современную азербайджанскую архитектурную сцену.

Декоративное искусство архитектурных школ средневекового Азербайджана отражает уникальные материалы, цветовые решения и принципы, которые до сих пор актуальны как в экстерьере, так и в интерьере. Таким образом, историческое наследие является важным источником вдохновения для современных азербайджанских дизайнеров и архитекторов.

Город Баку продолжает развиваться и трансформироваться, принимая влияние современных архитектурных течений. Выделены два основных направления в архитектурном стиле города: классическая Ширванская архитектурная школа, которая сохраняет свою актуальность, и европейское влияние, особенно периода XIX—XX вв. Эти два направления создают уникальное архитектурное наследие Баку и подчеркивают разнообразие стилей и подходов, что делает город еще более выразительным символом архитектурной истории.

С учетом экономического развития и инвестиций в нефтедобычу, градостроительная сфера в Баку пережила быстрый рост, что способствовало появлению новых парков, площадей и величественных зданий. Это активное развитие строительной индустрии свидетельствует о значительной роли, которую архитектура играет в современном облике города и его культурной истории.

В исследовании выполнены поставленные задачи:

- проанализированы ключевые черты Ширванской архитектурной школы и их влияние на современное азербайджанское искусство декора;
- исследованы европейские влияния в азербайджанской архитектуре и их роль в формировании современного облика Баку;
- проанализированы соотношение между наследием средневековой азербайджанской архитектуры и современными тенденциями в архитектурной сфере, выделены уникальные черты и вклад азербайджанской культуры в мировое архитектурное наследие.

Исследование подчеркивает важность сохранения и продвижения культурного наследия Азербайджана и его влияния на современную архитектурную сцену. Понимание эволюции азербайджанской архитектуры и ее связи с мировыми тенденциями не только способствует более глубокому восприятию истории, но и помогает формировать будущее архитектурного развития в стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Малиновская Е. Г.* Национальные школы XX века — социокультурные и профессиональные парадигмы формирования архитектуры столиц. Центральноазиатский контекст // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 2. С. 66—81.
2. *Ли И.* Специфика и национальные черты декоративного искусства Китая: к вопросу об актуальности сохранения национальных традиций // *Грамота*. 2017. № 12(2). С. 109—112.
3. *Агазаде Р. Р., Ибрагимли Ю. М.* Архитектура Азербайджана на путях развития. Баку : Шарг-Гарб, 2013. 383 с.
4. *Фатуллаев Ш. Ш.* Архитектурная энциклопедия Баку. Баку : Шарг-Гарб, 2013. 528 с.
5. *Корниенко С. В.* Биомиметика: идеи, вдохновленные природой // *Социология города*. 2021. № 4. С. 27—38.
6. *Abu-Orf H., Wafi S.* A Continuity of the Past in Contemporary Architecture: Investigating a “Cultural Continuity” // *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*. 2020. Vol. 5. No. 1. Pp. 288—294.
7. *Султанова Д. Н.* Зарубежный исторический опыт художественного образования архитекторов и дизайнеров // *Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: мат. междунар. науч.-практ. конф.* Тюмень, 2021. С. 50—53.
8. *Amrahova R., Mirgasimova A.* Color and Light in the Azerbaijan Architecture during the Feudalism Period // *Neu Journal of Faculty of Architecture*. 2020. Vol. 2. No. 1. Pp. 47—64.
9. *Вальковская М. Д., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В.* Использование современных подходов в дизайне жилых интерьеров // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 202—209.
10. *Maciel L.* Islamic Architecture and Contemporary Politics: Mosques in Constantine (Algeria) and Casablanca (Morocco) // *Actual Problems of Theory and History of Art: Collection of articles*. 2017. Vol. 7. Pp. 609—618.
11. *Мамед-заде К. М.* Народный Архитектор СССР Микаэль Усейнов. Баку : Элм, 1989. 400 с.
12. *Ivashko Y., Dmytrenko A., Chang P.* Historical tradition and modern transformations of the Algerian and Persian housing environment // *Housing Environment Architektura XXI Wieku*. 2020. Vol. 31. Pp. 113—124.
13. *Frost C.* Architects, architecture and the city: some themes on the continuity of classical ideas relating to the Latin Middle Ages. *Routledge Handbooks*. Routledge, Abingdon, Oxford, UK, 2019. Pp. 42—53.
14. *Горшкова С. Н., Костко О. Ю.* Поиск гармонии формы и содержания в дизайне интерьера ресторана // *Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: матер. междунар. науч.-практ. конф.* Тюмень : Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 221—226.
15. *Garmanov G., Volkov M., Spiridonova T.* Reconstruction of the Historical Heritage (Based on the Example of Azerbaijan Hamam) // *International Scientific Conference Week of Science. Civil Engineering*. 2016. Vol. 53. P. 5.
16. *Король Г. Г., Наумова О. Б.* О возможности сопоставления декоративного искусства и фольклорных источников (по материалам раннесредневековой металлической пластики Центральной Азии) // *Проблемы истории, филологии, культуры*. 2018. № 2. С. 7—24.
17. *Григорьева Н. М.* Традиции авангардного искусства в объектах средового дизайна // *Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: матер. междунар. науч.-практ. конф.* Тюмень : Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 226—230.
18. *Hajiyeva G.* Ancient and modern period of information resources on architectural and construction science of Azerbaijan // *Хуманитарни Балкански изследвания*. 2020. Vol. 3. No. 1(7). Pp. 73—76.
19. *Уэйд Г.* *Dream Cities: 7 урбанистических идей, которые сформировали мир*. М. : Эксмо, 2018. 340 с.
20. *Инякина Д. А., Черешнев И. В.* Влияние визуальной городской среды на человека // *Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: матер. междунар. науч.-практ. конф.* Тюмень : Изд-во Тюменского индустриального университета, 2021. С. 268—271.



21. Даруди А. Особенности декора в мусульманской архитектуре Ирана // Грамота. 2020. № 6. С. 201—208.
22. Sharr A. *Modern Architecture: A very short introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2018. 192 p.
23. Badalova F. Visual Facilities of Medieval Architecture in Azerbaijan // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. Vol. 1. No. 54. Pp. 114—122.
24. Casey C. *Surface Value: Ways of Seeing Decoration in Architecture*. *Architectural Histories*, 2021. Vol. 9. No. 1. Pp.13.
25. Расулова З. М. Отголоски средневекового архитектурного декора в творчестве Микаеля Усейнова // Пик азербайджанской архитектуры в XX веке: Микаел Усейнов: матер. конф. Баку, 2015. С. 57—60.

© Расулова З. М. кызы, 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Расулова З. М. кызы. Следы традиции средневекового декора в современной азербайджанской архитектуре (на примере города Баку) // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 247—257. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_247.

Об авторе:

**Расулова Замина Машалла кызы** — старший преподаватель каф. дизайна среды, Азербайджанский архитектурно-строительный университет. Азербайджан, г. Баку, ул. Султанова, 11, AZ-1073; Zamina.resulova@mail.ru

**Zamina Mashalla kyzy Rasulova**

**Azerbaijan University of Architecture and Civil Engineering**

## TRACES OF MEDIEVAL DECORATION TRADITION IN MODERN AZERBAIJANI ARCHITECTURE (ON THE EXAMPLE OF BAKU CITY)

This article delves into the history of the Middle Ages within the context of Azerbaijani culture, with a particular focus on the richness, diversity, and distinctive characteristics of decorative art in the architecture of that era. The author investigates the nuances of decoration and construction, materials employed, and the impact of various architectural schools on the medieval architecture of Azerbaijan. Furthermore, the article meticulously analyzes the intricate details and decorative elements found in both modern and ancient structures, showcasing their influence on architectural compositions and highlighting the fusion of traditional elements with contemporary trends.

**К e y w o r d s:** architecture, art of decoration, architectural schools, style, ornament, tradition.

*For citation:*

Rasulova Z. M. kyzy [Traces of medieval decoration tradition in modern Azerbaijani architecture (on the example of Baku city)]. *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], 2024, iss. 2, pp. 247—257. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_247.

*About author:*

**Zamina Mashalla kyzy Rasulova** — Senior Lecturer, Azerbaijan University of Architecture and Civil Engineering. 11, Sultanova st., Baku, Azerbaijan; Zamina.resulova@mail.ru

УДК 711.4:001.895

**О. А. Растяпина<sup>а</sup>, Г. Х. Маркосян<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Волгоградский строительный техникум*

## **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ**

Учитывая занятость большей части городских территорий, все более актуальным становится вопрос формирования энергоэффективной и многофункциональной застройки, которая отвечает современным стандартам качества. С ростом населения и уровня урбанизации города сталкиваются с неотложной задачей создания устойчивых и экологически чистых жилых и рабочих зон. В статье рассмотрены современные методы и инновационные решения, направленные на проектирование и строительство экологичных и энергоэффективных зданий, составляющих основу формирования качественной городской среды. Подобные здания способствуют максимально эффективному использованию энергоресурсов и минимизируют отрицательное воздействие на городскую среду.

**Ключевые слова:** качественная городская среда, энергоэффективная городская среда, энергоэффективное здание, энергосбережение, принципы экологичности, многофункциональное пространство.

### **Введение**

Современный уровень развития технологий и техники не только требует соответствия городов и условий жизнедеятельности в них нуждам горожан, но и формирования безопасной, качественной городской среды. Качественная городская среда включает благоприятные, безопасные условия жизнедеятельности, современный уровень жилья, соблюдение экологических стандартов. Большинство современных систем качества, используемых в строительстве, основаны на показателях экологичности и энергоэффективности сооружения и самой среды. Необходимы соблюдение экологических стандартов, их обновление, поиск новых решений, направленных на сохранение и очищение существующей и осваиваемой вновь окружающей среды.

Одним из решений является формирование устойчивого многофункционального пространства. Многофункциональное пространство при жилом доме, как следует из названия, должно обладать различными функциями. В их основу необходимо заложить классические — труд, быт, отдых. Следует определить четкие экологические принципы проектирования подобных домов, отвечающих экологическим стандартам и условиям безопасности, благоприятности среды, а также современным условиям жизнедеятельности.

Таким образом, возникает необходимость изучения существующего опыта строительства подобных зданий и определения основных принципов проектирования экологичности и энергоэффективности. Это позволит в целом сформировать подход для проектирования благоприятной, безопасной градостроительно устойчивой среды.

### **Принципы экологичного и энергоэффективного строительства**

Основой энергоэффективности в городской среде является принцип энергосбережения. Он включает в себя экономное, расчетливое использова-

ние эффективных технологий и материалов, улучшенное управление энергопотреблением [1]. Энергоэффективность начинается с понимания, как будет расходоваться энергия в здании, включаться и выключаться источники энергии, каковы каналы поступления энергии. Необходимо четко определить состояние всей энергосистемы объекта, в какие моменты и каким образом отключать подачу энергии в здании или снижать ее расход [2].

Составляющей частью энергоэффективности в городской среде является принцип экологичности [3]. Он включает в себя, в т. ч., сбор дождевых и сточных вод, использование солнечной, геотермальной энергии, энергии от биореакторов и утилизации мусора.

На формирование энергоэффективной жилой среды оказывает влияние транспортная система. Соответственно необходимо определение основных принципов планирования транспортной системы, направленной на снижение вредного воздействия транспорта. К таким принципам следует отнести:

- формирование транспортных развязок, направленных на снижение возможного скопления транспорта в отдельных узлах;
- развитие пешеходной сети движения;
- развитие безопасного велосипедного движения, как для велосипедистов, так и для остальных участников пешеходно-транспортного движения;
- устройство подземных парковок, минимизация присутствия автотранспорта внутри дворового пространства;
- изменение вида энергопотребления автомобилей.

Озеленение энергоэффективного городского пространства — важный элемент как с точки зрения благоустройства, так и создания здоровой санитарно-гигиенической среды.

#### **Опыт создания энергоэффективных кварталов**

Рассмотрим несколько значимых примеров из мировой практики по созданию энергоэффективных жилых объектов.

Квартал Vauban [4] в г. Фрайбург, Германия — наиболее известный пример энергоэффективного квартала (рис. 1). Проект запущен в 1990-х гг. и стал образцом для многих других разработок. Основные характеристики квартала Vauban: количество жителей составляет около 5 000 чел., площадь — примерно 38 га.

Квартал Vauban демонстрирует успешное использование солнечных батарей для производства электроэнергии, а также систем вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием геотермальной энергии. Главным успехом этого проекта является не только энергоэффективность зданий, но и создание комфортной городской среды для жителей.

Квартал Masdar City [5], г. Абу-Даби, ОАЭ (рис. 2), считается энергетически нейтральным кварталом. Построен в начале 2010-х гг. Количество жителей составляет более 5 000 чел., площадь — почти 2,4 км<sup>2</sup>. Квартал Masdar City полностью обеспечивает себя энергией благодаря солнечным батареям и системам утилизации отходов. Проект доказывает, что даже в климатически сложных условиях можно достичь энергоэффективности и устойчивости.



*а*

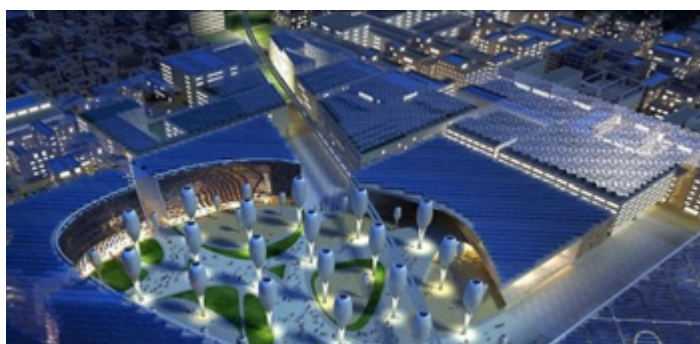


*б*

Рис. 1. Квартал Vauban:  
*а* — улица; *б* — использование солнечных панелей на крышах домов



*а*

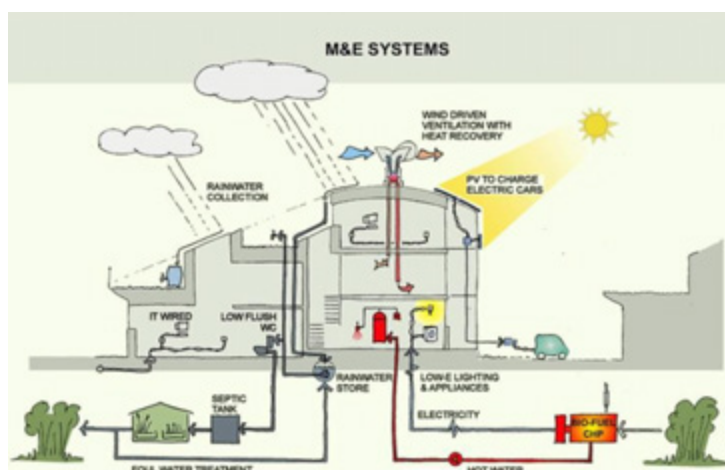


*б*

Рис. 2. Квартал Masdar City: *а* — днем; *б* — ночью

В квартале BedZED [6], Лондон, Великобритания, используются инновационные технологии, чтобы снизить воздействие на окружающую среду: солнечные панели, ветрогенераторы и системы водоочистки (рис. 3). Год постройки — 2002-й, количество жителей — примерно 2 000 чел., площадь — 17 га. Район состоит из 99 таунхаусов, спроектированных архитектором Б. Данстаном и консультантами по экологическому строительству из BioRegional. Принципы BedZED: полное решение проблемы обогрева зданий за счет воды и возобновляемых источников энергии, минимум личных машин, высокая сознательность жильцов. В проекте исключено использование нефти и газа, электричество и тепло производят за счет солнечных батарей и сжигания древесных отходов. В каждом доме есть небольшой сад, а количество зеленых насаждений учитывается специальным английским стандартом BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method — это оценка, проводимая независимыми лицензированными оценщиками с использованием научно обоснованных показателей и индексов ус-

тойчивости, которые охватывают ряд экологических проблем. Его категории оценивают использование энергии и воды, здоровье и благополучие, загрязнение, транспорт, материалы, отходы, экологию и процессы управления. Здания оцениваются и сертифицируются по шкале Pass, Good, Very Good, Excellent и Outstanding). Жители BedZED придерживаются правил экопорядка, включая отдельный сбор мусора, использование «отработанной» воды для технических нужд и экономию всех ресурсов.



*а*



*б*

Рис. 3. Квартал BedZED: *а* — M&E systems; *б* — один из экодомов

Hammarby Sjöstad [7], Стокгольм, Швеция — район считается образцовым, главный принцип его функционирования — близость к природе (рис. 4). Hammarby Sjöstad известен своей современной архитектурой и использованием экологических материалов и технологий. Район привлекает около 12 000 туристов ежегодно, его инфраструктура включает парки, рестораны и общественные пространства. Дома в районе созданы в концепции «пассивных до-

мов» с использованием солнечных батарей и других энергоэффективных решений. В районе созданы «экодуки» для животных и растений, а зеленые зоны и детские площадки обеспечивают комфорт и уют. Основные характеристики: год постройки — 2018, количество жителей — примерно 35 000 чел., площадь — 160 га.



*a*



*b*

Рис. 4. Hammarby Sjöstad: *a* — вид с лодочной станции;  
*b* — система подземного мусоропровода

Район оснащен современными экологичными материалами и системами, солнечными панелями и другими возобновляемыми источниками энергии. В Hammarby Sjöstad есть парк электромобилей и заправочные станции для электрокаров. В районе используется система сбора и переработки отходов, включая пищевые и канализационные. Мусоросбор в районе использует все отходы для производства энергии и воды, а также для регенерации воздуха. Вода и канализационные стоки обрабатываются и используются для производства энергии и удобрений.

В районе Malmö Western Harbour [8], Мальме, Швеция, размещаются энергоэффективные дома (рис. 5), планируется сделать их углеродно-нейтральными к 2030 г. Проект «Bo01» преобразовал старую верфь в экологически эффективный район, используя возобновляемые источники энергии. Пищевые отходы перерабатываются в биогаз для местных автобусов.



Рис. 5. Malmö Western Harbour

На территории старой верфи ветряная турбина обеспечивает большую часть электроэнергии, необходимой городу, пешеходные и велосипедные дорожки имеют приоритетное значение, вода отводится через ряд прудов, каналов и покрытых мхом крыш, а геотермальные резервуары под землей обеспечивают тепло зимой и прохладный воздух летом.

Исследование опыта создания энергоэффективных кварталов в разных странах позволяет выделить несколько ключевых факторов успеха:

- использование солнечных батарей и других возобновляемых источников энергии, применение современных технологий и материалов для энергоэффективного строительства;
- внедрение систем умного управления для оптимизации энергопотребления, которое заключается в контроле потребления всех ресурсов;
- учет климатических условий и региональных особенностей, который помогает выбрать подходящую для местности энергоэффективную технологию выработки и сбережения ресурсов;
- создание комфортной городской среды для жителей благодаря вышеперечисленным принципам.

#### **Проектирование энергоэффективного и экологичного здания, формирование качественной градостроительной среды**

Основой формирования многофункционального энергоэффективного пространства в городской среде является здание. Проектирование экологич-



ного и энергоэффективного здания представляет собой сложную задачу, требующую инновационных решений и тщательного обоснования концепции. Такая концепция может основываться на следующих принципах [9].

1. Учитывая, какой вред экологии наносит зона застройки, рекомендуется использовать вертикальное строительство вместо традиционного горизонтального размещения для меньшего урона почве. Это позволит максимально эффективно использовать доступное пространство, сохраняя его для других городских нужд, и нанесет меньший вред экологии. Предлагаемое здание представляет собой город-колонну высотой 1000 м в 250 этажей, выполненное из металлических конструкций по принципу башни Шухова в форме гиперболоида вращения, что позволяет зданию быть сейсмически устойчивым и выдерживать высокие ветровые нагрузки (рис. 6).



Рис. 6. Вариант проекта энергоэффективного квартала в условиях стесненной застройки

2. Здание будет многофункциональным, предоставляя жителям доступ ко всем необходимым сервисам и учреждениям в его пределах, включая торговые площади, медицинские центры, спортивные объекты, парковки, образовательные учреждения и бункеры [10, 11]. Это сократит необходимость в долгих перемещениях. При такой концепции жителям будут не страшны уже известные человечеству пандемии и войны.

3. Одним из важных аспектов является создание общественных пространств, способствующих взаимодействию жителей и формированию соседской солидарности [12]. Для создания комфортных условий для прогулок и общения, а также зоны коворкинга, рекомендуется формирование зеленых зон, которые будут служить инструментом благоустройства и оздоровления прилегающей территории.

4. С учетом вертикальной застройки фасад здания предлагается оборудовать солнечными батареями [13]. Эти источники энергии будут генерировать электроэнергию для нужд жителей. Потребление энергии зданием не будет превышать 25000 кВт·ч в день, исходя из предположения, что каждая квартира потребляет 10 кВт·ч/день. Площадь остекления объекта равна 37 000 м<sup>2</sup>,

1 м<sup>2</sup> солнечных панелей в день вырабатывает 0,3 кВт·ч. Соответственно возможная выработка электроэнергии —  $37\,000\text{ м}^2 \cdot 0,3\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 11\,000\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Что покрывает значительную часть энергопотребления в городе.

5. Для минимизации теплопотерь в здании является необходимым использование современных теплоизоляционных материалов и технологий. Планируется применять вакуумные панели и многослойные стеклопакеты для уменьшения энергопотребления на отопление и кондиционирование воздуха [14].

6. Перемещения по зданию осуществляются с помощью лифтов, как для людей, так и для электрического, водородного или гибридного автотранспорта. Парковка автотранспорта осуществляется на том же этаже, где проживает его владелец. На верхних этажах имеются посадочные парко-места для легкого транспорта. Все парко-места оборудованы беспроводными зарядками. Площадь здания 4298,66 м<sup>2</sup>, автопарковочная зона занимает 379,94 м<sup>2</sup> и способна разместить 2 500 автомобилей, на обычной парковке вплотную друг к другу эти автомобили заняли бы площадь 55 800 м<sup>2</sup>. Таким образом наносимый экологии ущерб снижается на 99,32 %.

7. Все здание оснащено системами умного управления, которые автоматически регулируют освещение, отопление, кондиционирование воздуха и другие энергозатраты в зависимости от потребностей и наличия жильцов [15].

8. Системы сбора и переработки дождевой воды предлагается интегрировать в инфраструктуру здания. Это поможет снизить потребление воды из внешних источников и предоставит дополнительные ресурсы для ландшафтного озеленения и общественных пространств.

9. Основными экологичными источниками энергопотребления станут геотермальные электростанции [16], чья производительность оценивается от 115 068 до 958 904 кВт·ч, в зависимости от местонахождения ГеоЭС, что покрывает потребление электроэнергии на 460...3835 %. Это позволит зданию вырабатывать энергию не только для себя, но также обеспечивать окружающую инфраструктуру.

10. В здании также будет развернута система биореакторов для переработки органических отходов в энергию [17]. Это поможет снизить потребность в воде из внешних источников и уменьшит отходы. За образец можно принять систему сборов и переработки отходов, схожую с системой в Hammarby Sjöstad, но устроенную вертикально, а не горизонтально.

Снижение расходов на энергию, а также возможность продажи избытка электроэнергии в электросеть делают проект экономически выгодным, т. к. помимо солнечных панелей, энергии от переработки мусора и биореакторов, город снабжается энергией также из геотермальных источников.

### **Выводы**

Предлагаемый проект здания удовлетворяет требованиям энергоэффективности и экологичности. В мире наблюдается увеличение интереса к устойчивой и экологически чистой жизни. Эффективное использование солнечной энергии, геотермальных ресурсов и возобновляемых источников энергии является ключевым элементом энергоэффективных зданий. Проектирование с учетом местных климатических и природных особенностей позволяет оптимизировать производство и потребление энергии. Успешные

примеры энергоэффективных кварталов также социально и экономически устойчивы. Формирование качественной городской среды с учетом современного уровня развития строительной науки и технологий — это новый подход к разработке экологической, многофункциональной и в целом энергоэффективной среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алоян Р. М., Федосов С. В., Опарина Л. А.* Энергоэффективные здания — состояние проблемы и пути решения. Иваново : ПресСто, 2016. 276 с.
2. *Smith J.* Energy Efficiency in Urban Planning // *Journal of Sustainable Architecture*. 2020. Vol. 15. No. 2. Pp. 45—60.
3. *Береговских А. Н.* От градостроительства к градоустройству. Омск, 2018. 424 с.
4. *Melia S.* On the Road to Sustainability // *Transport and Carfree Living in Freiburg*. 2006. Vol. 2. Pp. 53—64.
5. *Burns J.* Futuristic Eco-City Masdar Keeps Rising, Right On (a New) Schedule // PSFK. 2014. URL: psfk.com/2014/09/eco-friendly-city-masdar-rises-new-schedule.
6. *Dunster B.* ZEDlife. RIBA Publishing, 2018. 208 p.
7. *Catinella S.* Hammarby Sjöstad: the willing to create a model // *PortusPlus*. 2012. No. 3.
8. *Anderberg S.* Western harbor in Malmö // *Isocarp Review*. Vol. 11. Pp. 210—227.
9. *Опарина Л. А., Варамашвили Н. И.* Применение принципов системотехники строительства к обеспечению энергоэффективности зданий. 2011 г.
10. *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.
11. *Чеснокова В. Д., Растяпина О. А., Журбенко М. Д., Чеснокова О. Г.* Умный город и развитие системы общественного обслуживания // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 289—297.
12. *Brown S.* Energy-Efficient Urban Design: Principles and Practice // *Urban Publications*. 2018. Vol. 2. Pp. 25—31.
13. *Petrenko Yu., Kleilat M., Abed A.* Transparent Solar Cells the Future of Renewable Energy. Belarus, Belarusian National Technical University, 2021.
14. *Березнюк А. Н., Папирный Р. Б., Шаленный В. Т.* Совершенствование организационно-технологических решений строительства и реконструкции с учетом ресурсосбережения // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. № 3. С. 22—28.
15. *Семенов Б. А.* Экономичное освещение для всех. М. : Солон-Пресс, 2010. 224 с.
16. *Зыков Е. А., Вальцева А. И., Вальцев Н. В.* Геотермальная энергетика: история и перспективы развития // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: сб-к науч. тр.* Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2021. стр. 347—350.
17. *Рамазанов Ю. А.* Универсальные газо-вихревые биореакторы нового поколения — один из эффективных инструментов ускоренного развития промышленной биотехнологии // *Биотехнология: состояние и перспективы развития: матер. VIII Московского международ. конгресса*. 2015. Т. 1. С. 287—289.

© *Растяпина О. А., Маркосян Г. Х., 2024*

*Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Растяпина О. А., Маркосян Г. Х.* Современные направления энергоэффективных градостроительных решений // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 258—268. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_258.

*Об авторах:*

**Растяпина Оксана Анатольевна** — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; o\_rast@list.ru

**Маркосян Гайк Хачикович** — преподаватель, Волгоградский строительный техникум. Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Скосырева, 1; gaik.markosyan@yandex.ru

**Oksana A. Rastyapina<sup>a</sup>, Gaik H. Markosyan<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Volgograd Construction College*

## MODERN DIRECTIONS OF ENERGY-EFFICIENT URBAN PLANNING SOLUTIONS

Considering that most of the city's territories are occupied, the issue of creating energy efficient and multifunctional development that will meet modern quality standards is becoming increasingly urgent. With population growth and increasing urbanization, cities face the urgent challenge of creating more sustainable and environmentally friendly living and working areas. This article examines modern methods and innovative solutions aimed at the design and construction of environmentally friendly and energy efficient buildings that underlie the formation of a high-quality urban environment. Such buildings contribute to the most efficient use of energy resources and minimize the negative impact on the urban environment.

**Key words:** high-quality urban environment, energy-efficient urban environment, energy-efficient building, energy saving, environmental principles, multifunctional space.

*For citation:*

Rastyapina O. A., Markosyan G. H. [Modern directions of energy-efficient urban planning solutions]. *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], 2024, iss. 2, pp. 258—268. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_258.

*About authors:*

**Oksana A. Rastyapina** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; o\_rast@list.ru

**Gaik H. Markosyan** — Lecturer, Volgograd Construction College. 1, Skosireva st., Volgograd, 400066, Russian Federation; gaik.markosyan@yandex.ru

УДК 69.05

**Ю. Н. Николаев, Ю. В. Гущина, Н. С. Амельченко, С. Д. Тулупова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ**

Рассматривается подход к оценке организационно-технологической надежности строительного процесса на основе анализа выборок случайного показателя, используемого для моделирования строительного производства (производительность строительных машин и рабочих-строителей и/или затраты труда и машинного времени на единичный объем работ). Многолетние исследования авторов показали, что сформировать статистические выборки на основании данных строительных организаций становится зачастую невозможно вследствие отсутствия или ненадлежащего ведения строительной исполнительной документации, где должны поменно фиксироваться производственные показатели — фактически выполненные объемы и время работ, количество задействованных ресурсов и пр. В связи с этим в рамках настоящего исследования рассмотрены возможности использования методов генерации выборок случайных чисел и апробация их применения в рассматриваемом подходе к оценке уровня организационно-технологической надежности строительного производства и проектирования с заданным уровнем надежности.

**Ключевые слова:** организационно-технологическая надежность, оценка надежности, методы генерации выборок случайных чисел, управление надежностью строительного производства.

### **Введение**

Строительство относится к классу сверхсложных систем, в рамках которых взаимодействует огромное количество элементов. Цель этого взаимодействия — получение готовой строительством продукции в запланированный срок, с установленной ценой и заданным качеством [1, 2]. При этом огромное число факторов оказывают дестабилизирующее действие на строительную систему, отклоняя ее от запланированных результатов. Считается, что детерминировано описать результат такого влияния на результаты строительства весьма проблематично. Возможно рассмотрение лишь конечного результата — вероятности достижения строительной системой заданных параметров (к примеру, продолжительности) [3].

### **Материалы и методы**

В рамках настоящего исследования рассматривается один из подходов к оценке организационно-технологической надежности строительного производства и проектирования строительных процессов с установленным уровнем надежности [4—6]. Особенностью этого подхода является разделение в статистической выборке значений организационно-технологических показателей, использующихся для описания развития строительных процессов во времени (нормы времени на единичный объем работ и/или производительности), на две части — удовлетворяющих условию выполнения строительного процесса в запланированный срок и не удовлетворяющих. Это позволяет для принятого значения исходного для проектирования параметра вычислить вероятность того, что при выполнении строительного процесса норма времени

и/или производительность и вычисляемая на их основе продолжительность строительного процесса окажутся не более или не менее запланированных значений.

Проиллюстрируем суть подхода на примере. Допустим, мы имеем статистическую выборку значений фактической выработки строительной машины для определенного строительного процесса. Каждому значению соответствует определенное значение продолжительности работ (рис. 1).

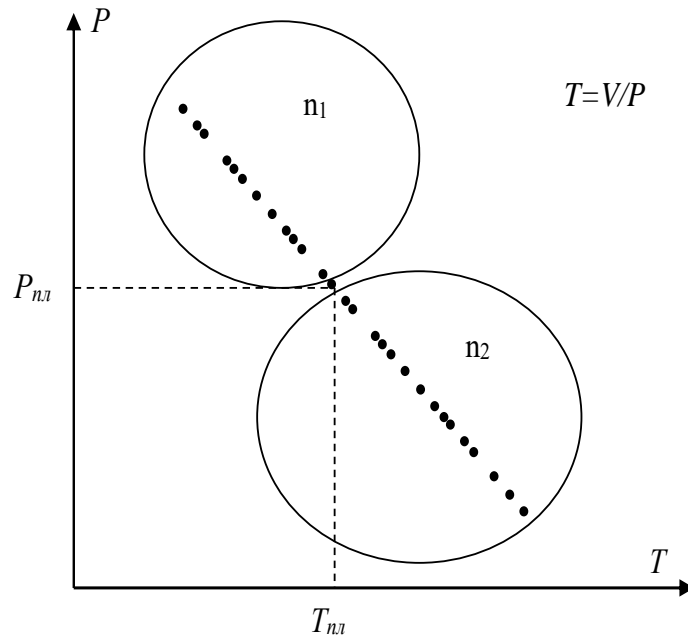


Рис. 1. Зависимость продолжительности строительства от значений вероятностной величины в выборке (для производительности)

На рисунке 1 видно, что плановому значению производительности ( $P_{пл}$ ) соответствует определенное значение длительности строительства ( $T_{пл}$ ), при этом вероятность достижения в результате реализации строительного процесса длительности не более запланированной составит ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{n_1}{n_1 + n_2}, \quad (1)$$

где  $n_1$ ,  $n_2$  — количество значений производительности в статистической выборке «не меньше» заданного уровня, что обеспечивает достижение продолжительности не более намеченной.

Если в качестве исходного показателя рассматривать норму времени строительной машины или рабочего, то получится, что для обеспечения продолжительности процесса не более запланированной величины, норма времени должна также оказаться не выше принятого для планирования значения (рис. 2).

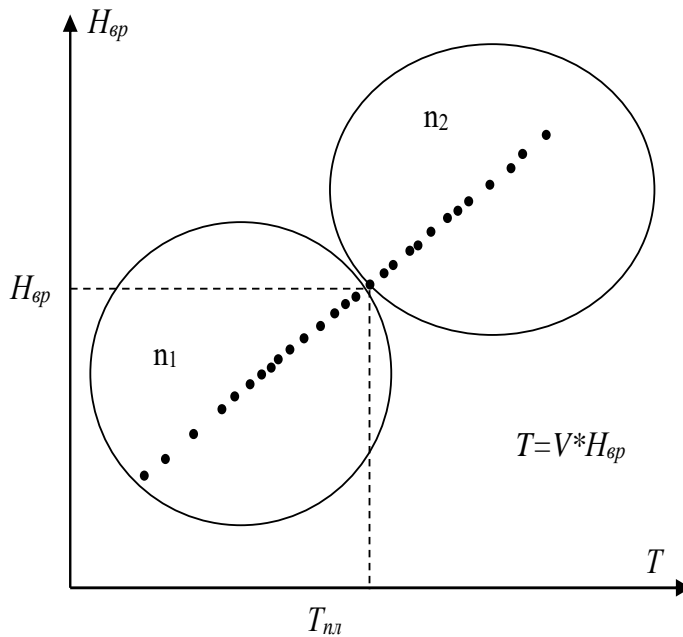


Рис. 2. Зависимость продолжительности строительства от значений вероятностной величины в выборке (нормы времени)

В этом случае вероятность достижения продолжительности «не более» запланированной составит ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{n_1}{n_1 + n_2}, \quad (2)$$

$n_1, n_2$  — варианты, для которых значение нормы времени «не более» установленного уровня, что обеспечивает достижение продолжительности не более запланированной.

### Результаты

Основным методом формирования статистических выборок для вероятностного проектирования выступает анализ отчетной строительной документации, в которой фиксируется объем выполненных работ за определенное время (рабочую смену) неким количеством строительных машин и рабочих [7—9]. Используя эти данные можно сформировать выборку значений производительности или единичных норм времени. Такая выборка характеризует конкретные условия производства работ конкретной строительной организацией и позволяет осуществить расчет вероятностных параметров строительных процессов [10—12]. При этом, как продемонстрировала практика работы со строительными организациями, большая часть строительных организаций не ведет соответствующую исполнительскую документацию или заполняет ее уже после завершения выполнения работ с приблизительным распределением по сменам выполненных объемов работ, что не позволяет получить реальную выборку для вероятностных расчетов.

Это делает актуальным рассмотрение возможностей использования компьютерных технологий генерации выборок вероятностных чисел в рамках рассматриваемого подхода к оценке уровня организационно-технологической надежности при отсутствии возможностей формирования реальных статистических выборок [13—15]. Для этого существуют специальные прикладные пакеты программ, наподобие Mathcad, а также расширенные функции в рамках популярных офисных программ, в частности, в среде Excel. В настоящей работе рассматривается применение специальных расширенных функций анализа данных в среде Excel для оценки организационно-технологической надежности строительных процессов.

Для расчета организационно-технологической надежности примем нормативное значение выработки строительных машин и норм времени рабочих строителей (на основании ЕНиР) и, используя пакет «Анализ данных» в среде Excel, на основе нормального распределения сгенерируем выборку значений случайных чисел<sup>1</sup>. Далее определим значение производительности строительной машины и нормы затрат рабочего времени, обеспечивающие исполнение строительного процесса в запланированный срок с вероятностью  $p = 0,7$ .

Исходные данные:

технологический процесс — укладка бетонной смеси в ленточный фундамент шириной до 600 мм бадьей, подаваемой краном;

$C_{\text{чел-ч}} = 300$  руб.;

$C_{\text{маш-ч}} = 700$  руб.;

объем работ ( $V$ ) = 22000 м<sup>3</sup>.

Данные по затратам труда и машинного времени<sup>2</sup>:

производительность машины составляет 6,67 м<sup>3</sup>/ч;

затраты труда рабочих строителей — 0,3<sub>чел-ч</sub> на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Состав звена:

бетонщик 2 разряда — 1;

бетонщик 4 разряда — 1.

Сгенерируем выборку значений производительности машины, используя пакет «Анализ данных», функцию «Генерация случайных чисел». В качестве базового значения принимается:

нормативное значение производительности машины — 6,67 м<sup>3</sup>/ч;

тип распределения — нормальное;

стандартное отклонение — 1,5.

Сформированная Excel выборка значений приведена в табл. 1.

Определим значение производительности машины с вероятностью выполнения строительного процесса по условию «не менее» намеченного, равной 0,7.

---

<sup>1</sup> ГОСТ Р 50779.21—2004. Статистические способы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по частичным данным. Ч. 1. Нормальное распределение. М. : Госстандарт России, 2004. 47 с.

<sup>2</sup> ЕНиР Е4-1-49. Укладка бетонной смеси в конструкции. Указание по применению норм. URL: <https://studfile.net/preview/6350823/page:37>.



Т а б л и ц а 1

*Результаты генерации случайных чисел для производительности крана*

№ п/п	$P_M$	№ п/п	$P_M$	№ п/п	$P_M$	№ п/п	$P_M$	№ п/п	$P_M$
1	3,20	21	5,67	41	6,47	61	7,25	81	8,04
2	3,39	22	5,73	42	6,54	62	7,25	82	8,09
3	3,71	23	5,75	43	6,55	63	7,28	83	8,09
4	3,82	24	5,76	44	6,59	64	7,35	84	8,12
5	4,00	25	5,79	45	6,59	65	7,51	85	8,16
6	4,12	26	5,87	46	6,63	66	7,69	86	8,23
7	4,28	27	5,93	47	6,65	67	7,70	87	8,26
8	4,50	28	5,95	48	6,66	68	7,76	88	8,31
9	4,54	29	5,99	49	6,71	69	7,76	89	8,32
10	4,72	30	6,07	50	6,76	70	7,77	90	8,38
11	4,75	31	6,16	51	6,87	71	7,78	91	8,48
12	4,75	32	6,17	52	6,88	72	7,78	92	8,63
13	5,03	33	6,22	53	6,89	73	7,78	93	8,67
14	5,13	34	6,25	54	6,97	74	7,79	94	8,86
15	5,39	35	6,25	55	7,01	75	7,84	95	8,88
16	5,40	36	6,33	56	7,05	76	7,84	96	9,14
17	5,40	37	6,35	57	7,05	77	7,86	97	9,47
18	5,58	38	6,40	58	7,14	78	7,89	98	9,48
19	5,62	39	6,45	59	7,16	79	7,97	99	9,86
20	5,64	40	6,47	60	7,19	80	8,03	100	10,12

По выборке значений производительности машины определяем минимальное и максимальное значения:

$$P_{\min} = 3,20,$$

$$P_{\max} = 10,12.$$

Определяем размер интервала при количестве промежутков равном 10:

$$\Delta P = \frac{(10,12 - 3,2)}{10} = 0,69.$$

Расчет числа значений производительности, попавших в каждый интервал, накопленных частот по условию «не менее» для границ промежутков и вероятности выполнения строительного процесса по условию «не менее» значений границ промежутков выполним в табличной форме (табл. 2).

Значение производительности крана, соответствующее уровню надежности (по условию задачи)  $p = 0,7$ , определяем с помощью способа интерполяции, поскольку заданный уровень надежности и искомое значение производительности машины находятся между границ промежутка:

$$P_{p=0,7} = 5,96 - 0,69 \cdot \frac{0,72 - 0,7}{0,72 - 0,53} = 5,81 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сгенерируем выборку случайных значений нормы затрат рабочего времени, применяя функцию «Генерация случайных чисел» пакета «Анализ данных» в среде Excel. Сформированная Excel подборка значений приведена в табл. 3.

Таблица 2

*Вычисление вероятности осуществления процесса с производительностью, не менее значения производительности в границах каждого интервала*

№ инт.	Границы интервалов	Кол-во значений в интервале	Кол-во значений, удовлетворяющих условию «не менее»	Вероятность $p_i$
1	3,20...3,89	4	100	1
2	3,89...4,58	5	96	0,96
3	4,58...5,27	5	91	0,91
4	5,27...5,96	14	86	0,86
5	5,96...6,65	19	72	0,72
6	6,65...7,34	16	53	0,53
7	7,34...8,03	17	37	0,37
8	8,03...8,72	13	20	0,2
9	8,72...9,41	3	7	0,07
10	9,41...10,10	4	4 0	0,04 0

Таблица 3

*Результаты генерации случайных чисел для нормы времени*

№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$
1	0,076	21	0,229	41	0,277	61	0,340	81	0,417
2	0,080	22	0,231	42	0,279	62	0,346	82	0,418
3	0,126	23	0,232	43	0,280	63	0,348	83	0,421
4	0,135	24	0,241	44	0,285	64	0,349	84	0,422
5	0,136	25	0,245	45	0,289	65	0,354	85	0,424
6	0,146	26	0,247	46	0,294	66	0,358	86	0,426
7	0,162	27	0,247	47	0,298	67	0,364	87	0,427
8	0,167	28	0,248	48	0,300	68	0,371	88	0,429
9	0,169	29	0,248	49	0,300	69	0,376	89	0,429
10	0,175	30	0,251	50	0,310	70	0,381	90	0,433
11	0,176	31	0,254	51	0,313	71	0,391	91	0,434
12	0,177	32	0,255	52	0,313	72	0,394	92	0,435
13	0,185	33	0,255	53	0,313	73	0,396	93	0,440
14	0,190	34	0,257	54	0,317	74	0,400	94	0,454
15	0,192	35	0,259	55	0,317	75	0,400	95	0,456
16	0,194	36	0,261	56	0,327	76	0,400	96	0,468
17	0,195	37	0,266	57	0,327	77	0,401	97	0,469
18	0,209	38	0,266	58	0,331	78	0,401	98	0,476
19	0,223	39	0,270	59	0,336	79	0,405	99	0,491
20	0,223	40	0,277	60	0,339	80	0,408	100	0,508

Определим значение нормы времени, отвечающее вероятности выполнения строительного процесса со значением «не более» намеченного, равной 0,7. По выборке значений нормы времени определяем минимальное и максимальное значения:

$$H_{врmin} = 0,076,$$

$$H_{врmax} = 0,508.$$

Определяем размер интервала при количестве промежутков равном 10:

$$\Delta P = \frac{(0,508 - 0,076)}{10} = 0,043.$$

Расчет числа значений нормы времени, попавших в каждый интервал накопленных частот по условию «не более» для границ промежутков, и вероятности выполнения строительного процесса с условием «не более» значений границ промежутков выполним в табличной форме (табл. 4).

Таблица 4

*Вычисление вероятности претворения в жизнь процесса с нормой времени, не более значения нормы времени в границах всего интервала*

№ инт.	Границы интервалов	Кол-во значений в интервале	Кол-во значений, удовлетворяющих условию «не более»	Вероятность $p_i$
1	0,076...0,119	2	0 2	0 0,02
2	0,076...0,162	5	7	0,07
3	0,162...0,205	10	17	0,17
4	0,205...0,248	12	29	0,29
5	0,248...0,291	16	45	0,45
6	0,291...0,334	13	58	0,58
7	0,334...0,377	11	69	0,69
8	0,377...0,42	9	78	0,78
9	0,42...0,463	17	95	0,95
10	0,463...0,506	5	100	1,00

Значение нормы времени рабочих, соответствующее уровню надежности (по условию задачи)  $p = 0,7$ , определяем с помощью метода интерполяции, т. к. заданный уровень надежности и соответственно искомое значение нормы времени находятся между границ интервала:

$$H_{врp=0,7} = 0,377 + 0,043 \cdot \frac{0,7 - 0,69}{0,78 - 0,69} = 0,339 \text{ чел-ч/1 м}^3.$$

Определим срок и стоимость производства работ с вероятностью достижения их запланированного уровня, равной  $p = 0,7$ :

$$T = \frac{VH_{вр}}{N} = \frac{22000 \cdot 0,339}{2} = 3729 \text{ ч}, \quad (3)$$

$$C = T(C_{чел-ч} N + C_{маш-ч}) = 3729 \cdot (300 \cdot 2 + 700) = 4\ 847\ 700 \text{ руб.} \quad (4)$$

Таким образом, при принятых параметрах (значениях нормы расходов рабочего времени и производительности машины, соответствующих уровню надежности 0,7) строительный процесс будет выполнен с продолжительностью не более 3729 ч (с вероятностью 0,7) и стоимостью не более 4 847 700 руб. (с вероятностью 0,7).

### **Обсуждение**

Вопросы формирования и использования статистических выборок для расчета показателей организационно-технологической надежности строительных технологических процессов рассматриваются в ряде работ [3, 7, 8]. При этом авторы исходят из возможности формирования таких данных по результатам надлежащего заполнения исполнительской документации подрядными организациями в ходе производства строительных работ и достоверности представленных в такой документации данных. Как показал анализ документации строительных организаций, это не всегда соответствует реальности, данные не всегда можно использовать для решения практических задач оценки надежности строительного производства в реальных условиях. Это и явилось побуждающим фактором к началу исследований возможности использования данных генерации случайных чисел в условиях отсутствия или недостоверности статистических данных.

### **Выводы**

Использована методика количественной оценки уровня надежности строительного процесса при применении не реальной выборки значений случайного параметра, а сгенерированных выборок случайных чисел, для чего использованы функции пакета «Анализ данных» в среде Excel. Апробация показала возможность применения этого подхода. Как нам представляется, наиболее целесообразной областью применения функций генерации случайных чисел являются случаи, когда отсутствует возможность формирования реальной статистической выборки (исполнительская документация строительной организацией надлежащим образом не ведется, вызывает сомнение достоверность данных отчетных документов строительной организации и т. п.).

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гусаков А. А., Богомолов Ю. М., Брехман А. И. Системотехника возведения: энциклопедический словарь. М. : Изд-во АСВ, 2004. 320 с.
2. Олейник П. П. Организация строительного производства. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. 276 с.
3. Гусаков А. А., Веремеенко С. А., Гинзбург А. В. Организационно-научно-техническая надежность строительного производства. М. : SVR-Аргус, 1994. 472 с.
4. Николаев Ю. Н., Прокопов С. В., Ларин К. В., Чурсинов Д. А. Совершенствование алгоритма автоматизированного формирования решений по производству строительных работ // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n5y2021/698](http://ivdon.ru/magazine/archive/n5y2021/698).
5. Nikolaev Y. N., Torgashina S. N., Ovsepyan O. S., Mazin S. A. Algorithm for the automated formation of organizational and technological solutions for construction work with a trial design basis // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7. Iss. 8. Pp. 3245—3259.
6. Nikolaev Y. N. Aspects of assessment of organizational and technical reliability and design of construction processes with target reliability level using computer-aided technologies // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. 2016. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911665.
7. Меняйлова Р. А., Чебанова С. А., Кравченко Д. Н. Информационно-технологическое обеспечение проектирования в строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 326—335.

8. *Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О.* Роль цифровых технологий при строительстве и повышении остаточного ресурса промышленной и строительной продукции // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 429—438.
9. *Гончарук В. С., Атаманов Ю. С., Гордеев С. Н.* Методы генерации случайных чисел // Молодой ученый. 2017. С. 20—23.
10. *Katzgraber H. G.* Random Numbers in Scientific Computing. 2010. 20 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1005.4117.pdf>.
11. *Lapidus A. A., Makarov A. N.* Fuzzy sets on planning of experiment for organization and management of construction processes // 5th International Scientific Conference Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education. 2016. Pp. 05003. DOI: 10.1051/mateconf/20168605003.
12. *Oleinik P., Kuzmina T., Zenov V.* Intensification of the investment process of construction // MATEC Web of Conferences. 2016. Pp. 05019. DOI: 10.1051/mateconf/20168605019.
13. *Volkov A., Chulkov V., Kazaryan R.* Innovative representation normative support in high-rise construction // Procedia Engineering. 2014. Vol. 91. Pp. 368—372. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.077.
14. *Rausand M., Barros A., Hoyland A.* System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. London : Wiley, 2020. 864 p.
15. *Voronkov I.* Evaluation and improvement of the reliability of organizational structures of ICP by the method of hierarchy analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Iss. 6. Pp. 062035. DOI: 10.1088/1757—899X/365/6/062035.

© Николаев Ю. Н., Гущина Ю. В., Амельченко Н. С., Тулупова С. Д., 2024

Поступила в редакцию  
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

*Николаев Ю. Н., Гущина Ю. В., Амельченко Н. С., Тулупова С. Д.* Оценка организационно-технологической надежности строительного производства с использованием компьютерных генераторов случайных чисел // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 269—278. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_269.

Об авторах:

**Николаев Юрий Николаевич** — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [yuri.nikolaev@yandex.ru](mailto:yuri.nikolaev@yandex.ru)

**Гущина Юлия Валерьевна** — канд. экон. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Амельченко Николай Сергеевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Тулупова Софья Дмитриевна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Yurii N. Nikolaev, Julia V. Gushchina, Nikolai S. Amelchenko, Sofia D. Tulupova**

**Volgograd State Technical University**

## ASSESSMENT OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF CONSTRUCTION PRODUCTION USING COMPUTER RANDOM NUMBER GENERATORS

The article considers an approach to assessing the organizational and technological reliability of the construction process based on the analysis of samples of a random indicator used to model construction production (productivity of construction machines and construction workers and/or labor and machine time costs per unit amount of work). At the same time, long-term research by the authors

has shown that it often becomes impossible to form statistical samples based on data from construction organizations as a result of the absence or improper maintenance of construction performance documentation, where production indicators should be recorded in shifts — the actual volumes and time of work performed, the number of resources involved, etc. In this regard, within the framework of this study, the possibilities of using methods for generating random number samples and testing their application within the framework of the considered approach to assessing the level of organizational and technological reliability of construction production and design with a given level of reliability are considered.

**Key words:** organizational and technological reliability, reliability assessment, methods for generating random number samples, reliability management of construction production.

*For citation:*

Nikolaev Yu. N., Gushchina J. V., Amelchenko N. S., Tulupova S. D. [Assessment of the organizational and technological reliability of construction production using computer random number generators]. *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], 2024, iss. 2, pp. 269—278. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_269.

*About authors:*

**Yurii N. Nikolaev** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yuri.nikolaev@yandex.ru

**Julia V. Gushchina** — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Nikolai S. Amelchenko** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Sofia D. Tulupova** — Master's Degree student, 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](http://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-oformleniyu/>), *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-oformleniyu/>), *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 заверяется 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 .jrg.

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 (Сур) № 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. Корректурная статья 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](mailto: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: [mariaapes@mail.ru](mailto:mariaapes@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](http://www.elibrary.ru)).

Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолГТУ 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  
2024. Выпуск 2(95)**

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 02.09.2024. Формат 70×108/16. Бумага офсетная

Гарнитура Times New Roman. Цена свободная

Уч.-изд. л. 13,0. Усл. печ. л. 24,5. Тираж 500 экз. Заказ № 106

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