

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Вып. 2(87) **Серия: Строительство и архитектура** **2022**
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

ВолГТУ

С о д е р ж а н и е

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

- Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В.** Численная оценка влияния жесткости надфундаментной части сооружения и деформационных свойств грунтового массива на осадки и устойчивость основания 6
- Олянский Ю. И., Татаркин А. В., Кузьменко Д. А.** Палеогеографические условия как основной фактор формирования вещественного состава сарматских глин 19
- Перехоженцев А. Г.** О защите от переувлажнения ограждающих конструкций зданий (рекомендации по совершенствованию норм по теплозащите зданий) 30
- Харланова С. В., Харланов В. Л.** Применение алгоритма фильтрации акселерограмм от шума с помощью вейвлет-преобразования при исследовании сейсмических нагрузок 39

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

- Макаров А. В., Калиновский С. А., Федорова В. С., Евдокименко А. О.** Эффективный вариант завершения Нулевой продольной магистрали в Волгограде 48
- Макаров А. В., Калиновский С. А., Федорова В. С.** Расчет конструкций мостов с применением метода динамического редуцирования 57

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Шведов Е. Г.** Практические способы реализации задач устойчивости стержней с индуцированной анизотропией 65

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчури Т. К., Стефаненко И. В.** Современные технологии и системы защиты поверхностей от проникновения воды 72
- Гнедаш Е. Е., Стефаненко И. В., Акчури Т. К.** Влияние механического воздействия на процессы формирования структуры жаростойкого бетона с высокотемпературным наполнителем 82

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

- Сорокин А. М.** Мониторинг систем теплоснабжения 90

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Герашенко А. А., Доскина Э. П., Игнаткина Д. О., Власова О. С., Сахарова А. А., Тырин Д. В., Селиверстова М. А.** Снижение техногенного воздействия на окружающую среду строительных узлов красильно-печатного производства на основе совершенствования метода электрокаталитической деструкции 99
- Продоус О. А., Шлычков Д. И., Пархоменко С. В.** Необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб 107
- Радченко О. П., Поздняков А. П., Клочков Д. П.** Обеспечение условий, повышающих экологическую безопасность автопредприятий 115
- Соколов Л. И., Силинский В. А.** Обеззараживание стоков целлюлозно-бумажного производства хлорсодержащим реагентом из минеральных подземных вод 123
- Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В., Куликова И. А.** Применение электродиализа на импульсном токе в технологии очистки сточных промывных вод 135

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

- Торгашина С. Н., Чернобай Е. А., Косовцев В. Д.** Перспективы использования систем солнечного теплоснабжения в строительной отрасли Волгоградской области 144
- Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Карпов А. А.** Форсунка распылительной системы 152

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Азаров В. Н., Азаров А. В., Мензелинцева Н. В., Статюха И. М., Власова О. С., Селиванов А. А.** Разработка метода определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов на объектах стационарных торговых сетей (на примере торговой сети «Магнит») 161
- Азаров В. Н., Елфимов К. А., Давудов Р. И., Васильев А. Н., Симаков В. С.** Об использовании случайных функций для анализа пылевого загрязнения пешеходных зон 171
- 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 178
- Лебедев И. М., Заболотнева П. А.** Переход к углеродно-нейтральной строительной отрасли как часть «зеленого» будущего 188
- Чернянская Т. А., Ушаков В. В.** Историческое развитие и состояние системы озеленения Волгограда 198

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

- Аль Баадани М. М. М., Янушкина Ю. В.** Актуальные проблемы сохранения градостроительного наследия в арабских странах (на примере Старого города Саны, Йемен) 208
- Балакин В. В.** Градостроительные мероприятия по регулированию аэрационного режима и снижению загрязнения атмосферного воздуха транспортных коммуникаций 218
- Етеревская И. Н., Мацигор Д. А.** Особенности ландшафтно-градостроительной реабилитации прибрежных территорий центра города (на примере Астрахани) 233
- Мурадов И. С., Барковская А. Ю., Антюфеев А. В.** Проблемы формирования общественных пешеходных пространств в современных градостроительных условиях (на примере парковой территории на проспекте Metallургов в Волгограде) 249
- Прокопенко В. В., Барбаров И. И.** Градостроительные особенности взаимосвязи зеленой зоны с системой озелененных территорий города 261
- Прокопенко В. В., Растяпина О. А., Плешаков И. Н.** Градостроительная трансформация поселения, или Идеальный город 270
- Растяпина О. А., Прокопенко В. В., Ганжа О. А.** Критерии, определяющие уровень качества городской среды 281
- Степанян М. Р., Матовников С. А.** Современные архитектурные приемы формирования прибрежных территорий 292

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Иванова Н. В., Романова В. В. Проектирование жилых зданий в условиях пандемии коронавируса 301

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О., Плешаков В. В.
Возможности цифровых технологий для каждого этапа жизненного цикла строительной системы 317

От редколлегии 326

Content

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

Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V. Numerical evaluation of the effect of the rigidity of the above-foundation part of the structure and the deformation properties of the soil mass on precipitation and the stability of the base	6
Olyanskii Yu. I., Tatarkin A. V., Kuzmenko D. A. Paleographic conditions as basic factor of formation of material composition of sarmat clays	19
Perehozhencev A. G. On protection against waterlogging of enclosing structures (recommendations for improving the standards for the thermal protection of buildings)	30
Kharlanova S. V., Kharlanov V. L. Application of the algorithm for filtering accelerograms from noise using the wavelet transform in the study of seismic loads	39

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

Makarov A. V., Kalinovsky S. A., Fedorova V. S., Evdokimenko A. O. An effective option for completing the Zero longitudinal highway in the city of Volgograd	48
Makarov A. V., Kalinovsky S. A., Fedorova V. S. Calculation of bridge structures using the dynamic reduction method	57

STRUCTURAL MECHANICS

Kalashnikov S. Yu., Gurova E. V., Shvedov E. G. Practical methods of implement stability problems of rods with induced anisotropy	65
--	----

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. Modern technologies and systems for surface protection against water penetration	72
Gnedash E. E., Stefanenko I. V., Akchurin T. K. The influence of mechanical action on the processes of formation of the structure of heat-resistant concrete with high-temperature filler	82

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

Sorokin A. M. Monitoring of heat supply systems	90
--	----

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Gerashchenko A. A., Doskina E. P., Ignatkina D. O., Vlasova O. S., Sakharova A. A., Tirin D. V., Seliverstova M. A. Reduction of the technogenic impact on the environment of the construction units of the dye-printing industry based on the improvement of the method electrocatalytic destruction	99
Prodous O. A., Shlychkov D. I., Parkhomenko S. V. The need to develop tables for hydraulic calculation of gravity-flowed water drainage networks with deposit in the tray part of the pipes	107
Radchenko O. P., Pozdnyakov A. P., Klochkov D. P. Provision of conditions that increase the environmental safety of automobile enterprises	115
Sokolov L. I., Silinskiy V. A. Disinfection of pulp and paper production effluents with chlorine-containing reagent from mineral groundwater	123
Fomichev V. T., Gubarevich G. P., Savchenko A. V., Kulikova I. A. Application of pulse current electroanalysis in the technology of waste wash water purification	135

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

Torgashina S. N., Chornobay E. A., Kosovtsev V. D. Prospects for the use of solar heat supply systems in the construction industry of the Volgograd region	144
Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Chebanova S. A., Karpov A. A. Spray system nozzle	152

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Azarov V. N., Azarov A. V., Menzelitseva N. V., Statyukha I. M., Vlasova O. S., Selivanov A. A. Development of a method for determining standards for the accumulation of solid public waste at the objects of stationary trading networks (on the example of the trading network "Magnet")	161
Azarov V. N., Elfimov K. A., Davudov R. I., Vasilev A. N., Simakov V. S. On the use of random functions for the analysis of dust pollution of pedestrian zones	171

Korosteleva M. V., Korosteleva N. V. Sanitary protection zones in the planning structure of cities as a territory with a special regime of use: regulatory rules for establishing and fixing in urban planning documentation	178
Lebedev I. M., Zabolotneva P. A. Transition to a carbon-neutral construction industry as part of a "green" future	188
Chernyavskaya T. A., Ushakov V. V. Historical development and condition landscaping systems of the city of Volgograd	198
URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT	
Al Baadani M. M. M., Yanushkina Yu. V. Actual problems of urban heritage preservation in Arab countries (by the example of the Old city of Sana'a, Yemen)	208
Balakin V. V. Urban planning measures for regulation aeration regime and pollution reduction atmospheric air transport communications	218
Eterevskaya I. N., Matsigor D. A. Features of landscape and urban planning rehabilitation of the city center coastal territories (by the example of Astrakhan)	233
Muradov I. S., Barkovskaya A. Yu., Antyufeev A. V. Socio-cultural aspects of the reconstruction of public pedestrian space (on the example of a park area on Metallurgov avenue, Volgograd)	249
Prokopenko V. V., Barbarov I. I. Urban planning features of the relationship of the green zone with the system of greened areas of the city	261
Prokopenko V. V., Rastyapina O. A., Pleshakov I. N. Urban planning transformation of a settlement or an ideal city	270
Rastyapina O. A., Prokopenko V. V., Ganzha O. A. Criteria, determining the level of quality of the urban environment	281
Stepanyan M. R., Matovnikov S. A. Modern architectural techniques for the formation of coastal territories	292
GENERAL ARCHITECTURE	
Ivanova N. V., Romanova V. V. Design of residential buildings under the conditions of the coronavirus pandemic	301
INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganessian O. V., Burlachenko A. O., Pleshakov V. V. Possibilities of digital technologies for each stage of the life cycle of the building system	317
From Editorial Team	326

УДК 624.131

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

^а Тюменский индустриальный университет

^б Волгоградский государственный технический университет

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ НАДФУНДАМЕНТНОЙ ЧАСТИ СООРУЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВОГО МАССИВА НА ОСАДКИ И УСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВАНИЯ

В работе приведена часть результатов численных исследований напряженного состояния, осадок и устойчивости основания штампа конечной жесткости. Введены понятия эквивалентной толщины штампа и эквивалентной нагрузки. Предложен подход для учета жесткости надфундаментной части сооружения и модулей деформации грунта и материала штампа. В результате анализа полученных результатов установлено, что максимально чувствительными к изменению величины отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ являются вертикальные напряжения σ_z в точках, распо-

ложенных в активной зоне фундамента. При росте величины $\frac{E_{ш}}{E_0}$ численные значения напря-

жений σ_z под подошвами толстого штампа и штампа с эквивалентной нагрузкой уменьшаются, причем данная тенденция ярче выражена для толстого штампа эквивалентной высоты. Численные значения вертикальных напряжений в точках, расположенных на оси симметрии толстого штампа непосредственно под его подошвой, примерно на 24...30 % меньше аналогичных напряжений для штампа толщиной H . Осадки штампа толщиной H при величине внешней эквивалентной нагрузки, равной $q = 12\gamma_0 H$, для всех рассмотренных выше значений величины

отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ и при остальных равных условиях примерно на 43...44 % больше, чем осадки

толстого штампа с высотой надфундаментной части $H^* = 6H$. Области пластических деформаций под штампом толщиной H начинают образовываться не под его краями, а в глубине активной зоны под его подошвой. По мере увеличения численного значения отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$

форма уплотненного грунтового ядра, возникающего под штампом, меняется от формы криволинейной трапеции до формы треугольника с криволинейными боковыми сторонами. Процесс развития ОПД под толстым штампом при всех рассмотренных значениях $\frac{E_{ш}}{E_0}$ начинается под

его краями, а форма грунтового ядра в виде треугольника с криволинейной границей остается постоянной. При этом смыкание пластических областей происходит приблизительно на одной глубине. Величины предельно допустимой нагрузки и расчетного сопротивления для толстого штампа ($H^* = 6H$) на 17,0...25,9 % и на 2,8...24,3 % больше соответствующих значений для штампа толщиной H , нагруженного эквивалентной нагрузкой при рассмотренных в работе численных значениях отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$.

К л ю ч е в ы е с л о в а: жесткость надфундаментной конструкции, эквивалентная высота штампа, эквивалентная нагрузка, физико-механические и деформационные свойства, напряженное состояние, осадки основания штампа конечной жесткости, расчетное сопротивление, предельно допустимая нагрузка.

Введение

Известно, что большинство методов расчета осадок фундаментов [1—6] не позволяют учитывать жесткость надфундаментной части сооружения (НЧС), что является, по-видимому, одной из причин того, что расчетные значения осадок существенно отличаются от их фактических значений.

В формулы для расчета осадок входят значения вертикальных напряжений σ_z . Если будет установлено, что жесткость надфундаментной конструкции существенно изменяет их численные значения, то это будет служить основанием того, что для получения более достоверных результатов при расчете осадок необходимо учитывать этот фактор [7].

Целью настоящей работы является исследование влияния жесткости надфундаментной конструкции на распределение напряжений в активной зоне однородного основания ленточного (плитного) фундамента.

В качестве **метода** исследования этого вопроса выбрано численное моделирование (МКЭ) напряженного состояния в активной зоне фундамента в зависимости от величины отношения модулей деформации материала фундамента (НЧС) и грунта основания $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}$ при помощи компьютерной программы FEA [8].

На рис. 1 приведены две принципиальные схемы, которые возможно численно реализовать. На рис. 1, *а* показан заглубленный на глубину H фундамент шириной $2b$ на однородном основании, нагруженный равномерно распределенной нагрузкой от надфундаментной части сооружения. На рис. 1, *б* — толстый штамп с глубиной заложения H и надфундаментной частью высотой H^* , причем в обоих случаях заглубленные части штампов имеют одинаковые размеры и физико-механические свойства.

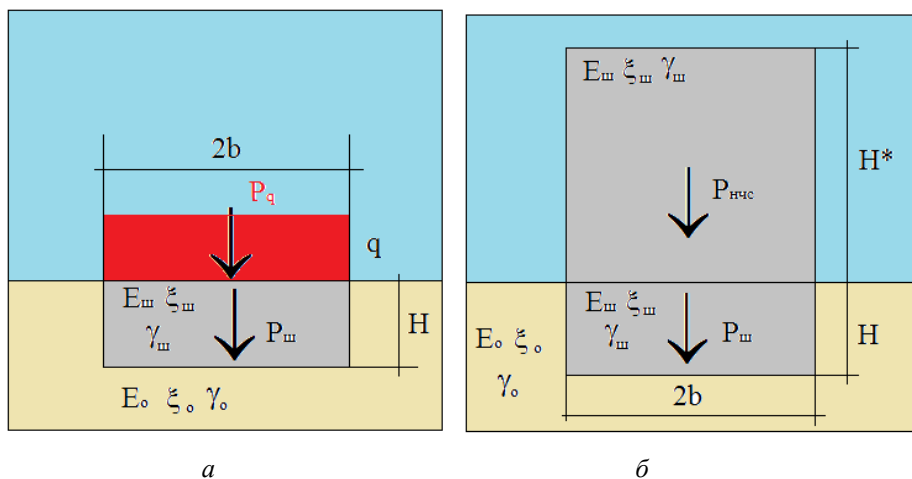


Рис. 1. Нагрузки, передаваемые на основание: *а* — штамп с равномерно распределенной нагрузкой; *б* — штамп с учетом надфундаментной части сооружения

Из условия, что нагрузки, передаваемые на основание, в обоих случаях должны быть одинаковыми, можно установить соотношение между интенсивностью внешнего воздействия q и высотой надфундаментной части

сооружения. Учитывая, что все силы, изображенные на рис. 1, лежат на одной прямой и направлены в одну сторону, запишем соотношение

$$P_q + P_{\text{ш}} = P_{\text{нчс}} + P_{\text{ш}}. \quad (1)$$

Так как интенсивность внешней нагрузки будем задавать в долях $n\gamma_0 H$ (n — некоторый положительный коэффициент), перепишем выражение (1) следующим образом:

$$n\gamma_0 H 2b = \gamma_{\text{ш}} H^* 2b, \quad (2)$$

откуда следует, что

$$H^* = \frac{n\gamma_0 H}{\gamma_{\text{ш}}}. \quad (3)$$

Таким образом, соотношение (3) позволяет определить величину H^* , при которой главный вектор нагрузки на основание одинаков, при использовании обеих схем (см. рис. 1), что необходимо при сопоставлении результатов вычислений.

При проведении вычислений будем полагать, что $\gamma_{\text{ш}} = 2\gamma_0$. Тогда, например, эквивалентная толщина штампа $H^* = 6H$ соответствует по силовому воздействию величине равномерно распределенной нагрузки интенсивности $q = 12\gamma_0 H$.

Для того чтобы наверняка охватить весь диапазон изменения выше перечисленных параметров, при проведении компьютерного моделирования принято, что им последовательно присваиваются следующие значения: $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0} = 5;$

10; 100; 1000; $\frac{2b}{H} = 2; 4; 10; 20;$ $q(\gamma_0 H)^{-1} = 0; 3; 12; 20;$ и $H^* = 0; 1,5H; 6H; 10H$.

Таким образом, выполнено около 250 вычислительных операций, результаты некоторых из них приведены ниже.

Отметим, что основание сложено однородным суглинком, имеющим следующие физико-механические и деформационные характеристики: сцепление $c = 47$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi = 26^\circ$, удельный вес $\gamma_0 = 2$ т/м³; модуль деформации $F_0 = 39$ МПа; коэффициент бокового давления $\xi_0 = 0,39$ (коэффициент Пуассона $\vartheta_0 = 0,28$).

Анализ результатов компьютерного моделирования

На рис. 2 в качестве примера приведены изображения изолиний безразмерных (в долях $\gamma_0 H$) вертикальных σ_z ($a—\epsilon$), горизонтальных σ_x ($z—e$) и касательных τ_{xy} ($ж—и$) напряжений в основании штампа полушириной $5H$ и толщиной H , находящегося под действием эквивалентной равномерно распределенной нагрузки при $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0} = 5; 10; 50$ соответственно, а на рис. 3 — ана-

логичные изолинии в основании толстого штампа той же полуширины при глубине заложения H и эквивалентной высоте надфундаментной конструкции $H^* = 6H$ (на рисунках показаны фрагменты половин расчетных схем).

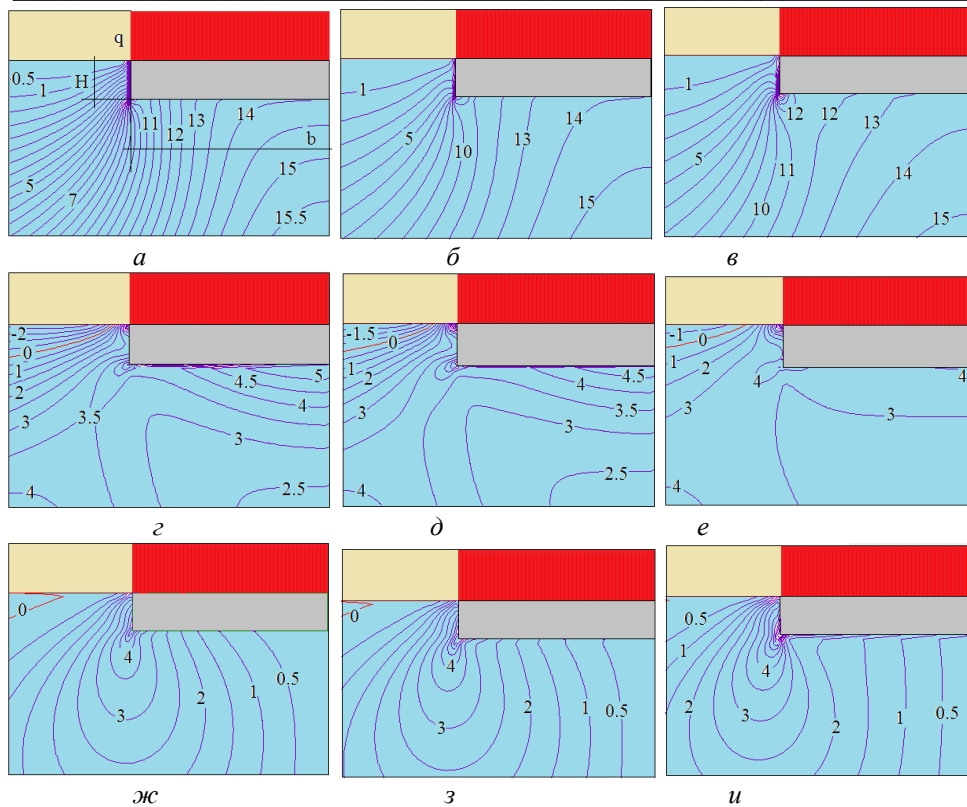


Рис. 2. Картины изолиний вертикальных σ_z (а—в), горизонтальных σ_x (з—е) и касательных τ_{xy} (ж—и) напряжений в основании штампа полушириной $5H$ и толщиной H , находящегося под действием эквивалентной равномерно распределенной нагрузки при $\frac{E_{ш}}{E_0} = 5; 10; 50$ соответственно

Анализ картин изолиний показывает, что наиболее чувствительными к изменению величины отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ являются вертикальные напряжения σ_z .

При росте численного значения этого отношения интенсивность напряжений σ_z под подошвами штампов в обоих случаях уменьшается, причем данная тенденция ярче выражена для толстого штампа эквивалентной высоты.

Численные значения вертикальных напряжений в точках, расположенных на оси симметрии толстого штампа непосредственно под его подошвой, примерно на 24...30 % меньше аналогичных напряжений для штампа толщиной H , находящегося под действием равномерно распределенной нагрузки.

Горизонтальные и касательные напряжения, возникающие в активной зоне фундамента, практически никогда не учитываются при расчете осадок, однако считаем необходимым коротко остановиться на описании трансформации их полей.

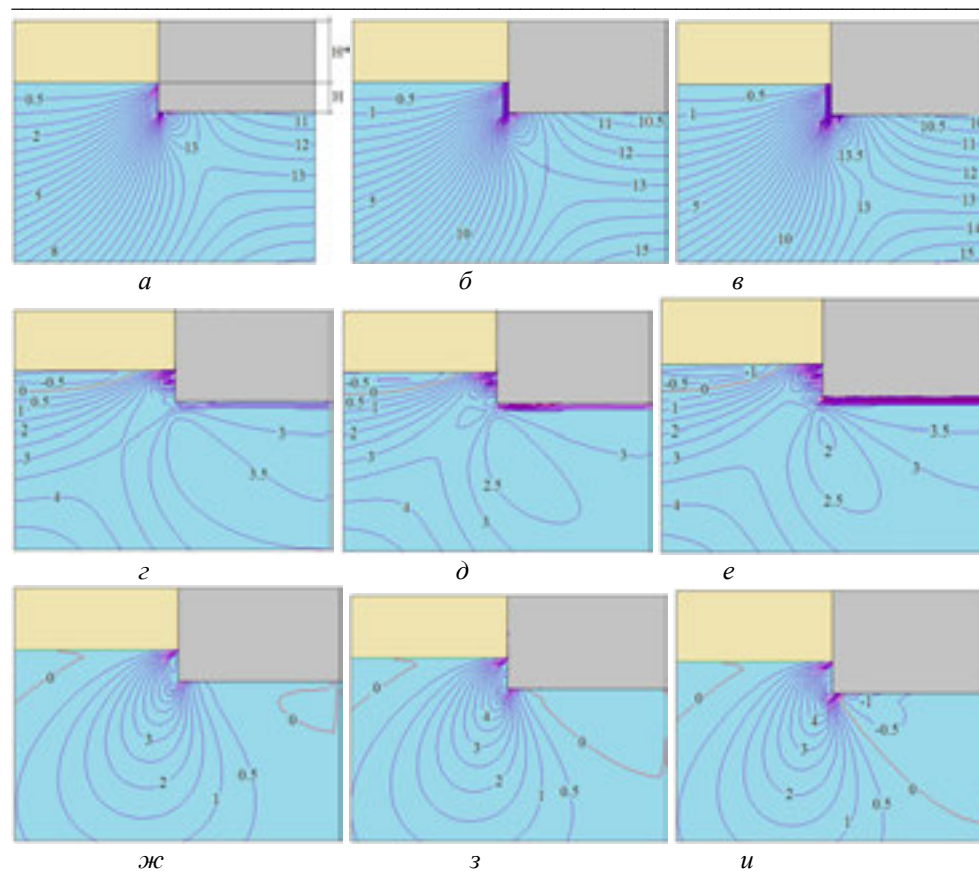


Рис. 3. Картины изолиний вертикальных σ_z (а—в), горизонтальных σ_x (г—е) и касательных τ_{xy} (ж—и) напряжений в основании штампа полушириной $5H$ и $H^* = 6H$ (на рисунках показаны фрагменты половин расчетных схем) при $\frac{E_{ш}}{E_0} = 5; 10; 50$ соответственно

Отклик горизонтальных σ_x и касательных τ_{xy} напряжений на изменение величины $\frac{E_{ш}}{E_0}$ не так ярок, как вертикальных. Форма их изолиний и интенсивность меняются незначительно, однако, как и ранее, численные значения σ_x и τ_{xy} под штампом толщиной H несколько больше, чем под толстым штампом. Следует отметить, что под толстым штампом при увеличении численного значения отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ происходит развитие областей отрицательных касательных напряжений τ_{xy} .

Отмеченные выше особенности трансформации полей напряжений σ_z , σ_x и τ_{xy} при увеличении численного значения отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ должны, по

нашему мнению, способствовать увеличению вертикальных перемещений (осадок) штампов.

На рис. 4 в качестве примера изображены картины изолиний безразмерных (в долях H) вертикальных перемещений S_z под штампом толщиной H и шириной $2b=10H$, загруженного равномерно распределенной нагрузкой интенсивности $q=12\gamma_0 H$ при $\frac{E_{ш}}{E_0} = 5; 10; 100; 1000$ соответственно; и под толстым штампом той же ширины при $H^* = 6H$, что находится в силовом эквиваленте упомянутой выше нагрузке.

Анализ изображений показывает, что в обоих случаях с ростом численного значения величины отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ кривизна изолиний перемещений

уменьшается, происходит постепенное выравнивание осадок под подошвой фундамента. Этот процесс проходит более интенсивно под подошвой толстого штампа (условие учета жесткости надфундаментной части сооружения).

Чем больше $\frac{E_{ш}}{E_0}$, тем больше радиус кривизны (меньше кривизна) изолиний

и, следовательно, равномернее осадки штампа. Заметим, что данное обстоятельство отмечено и автором работы [7]. Также отметим, что численные значения осадок растут пропорционально увеличению численного значения отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$.

Особо следует указать на то обстоятельство, что осадки штампа толщиной H при величине внешней нагрузки, равной $q=12\gamma_0 H$, для всех рассмотренных выше значений величины отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ и при остальных равных

условиях примерно на 43...44 % больше, чем осадки толстого штампа с высотой надфундаментной части $H^* = 6H$, что по силовому воздействию эквивалентно упомянутой выше нагрузке. Это обстоятельство подтверждает высказанное нами ранее предположение.

Рассматривая напряженно-деформированное состояние оснований штампов, нельзя не остановиться на вопросах, связанных с их несущей способностью.

При расчете несущей способности оснований обычно особое внимание уделяют двум предельным нагрузкам: расчетному сопротивлению R и предельно допустимой нагрузке $P_{пл}$. Как известно, первая из этих нагрузок равна силе, действующей на фундамент, при которой области пластических деформаций, построенные на основании условия прочности Кулона [9, 10], развиты ниже подошвы фундамента на четверть его ширины (в нашем случае $\Delta Z = \frac{b}{2}$). При нагрузке, равной предельно допустимому значению, пластические области смыкаются под подошвой фундамента [11—13].

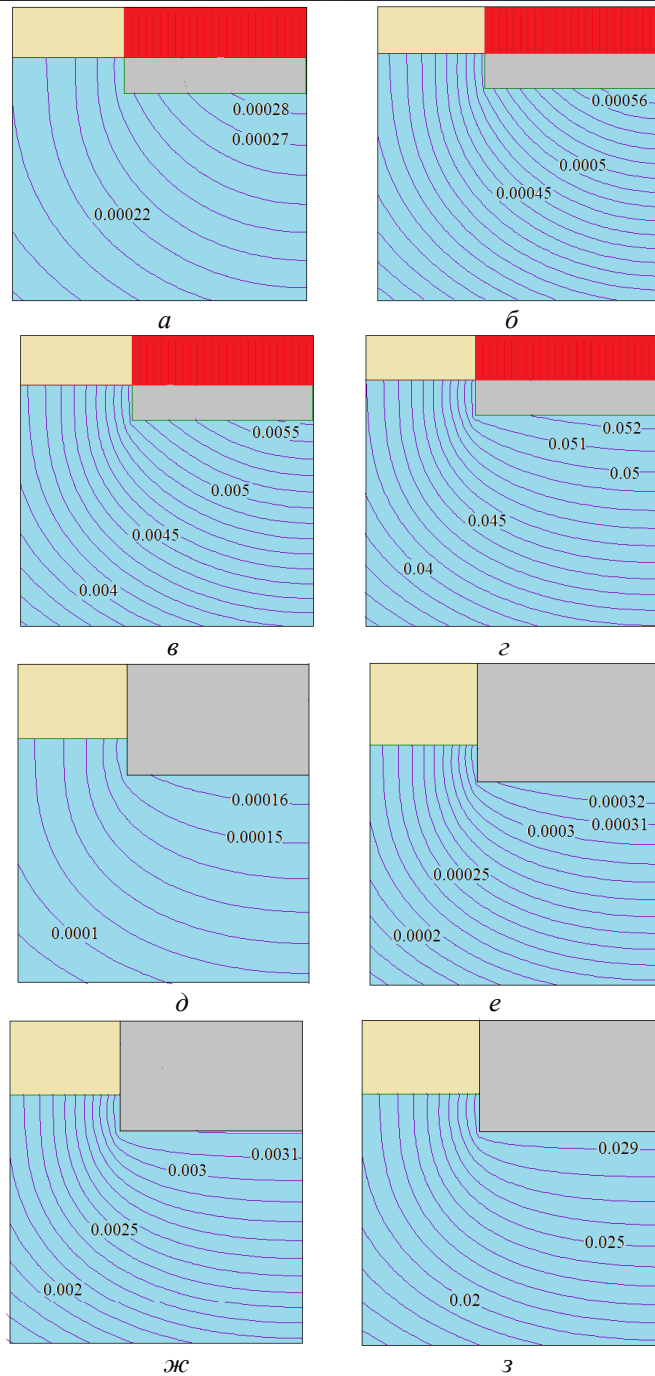


Рис. 4. Изолинии безразмерных (в долях $\frac{S}{H}$) вертикальных перемещений S_z под штампом толщиной H и шириной $2b = 10H$, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой $q = 12\gamma_0 H$ (*a—в*), и толстым штампом той же ширины при $H^* = 6H$ (*д—з*) при $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0} = 5; 10; 100; 1000$ соответственно

На рис. 5 в качестве примера изображены кулоновские области пластических деформаций (ОПД) в основании штампа толщиной H при достижении интенсивностью равномерно распределенной нагрузки предельно допустимого значения и аналогичные области в основании толстого штампа при $H^* = 6H$ и различных численных значениях величины отношения модулей деформации материала штампа и грунта основания $\frac{E_{ш}}{E_0}$.

В процессе отслеживания развития областей пластических деформаций было установлено, что при заданных условиях ОПД под штампом толщиной H начинают образовываться не под его краями, а в глубине активной зоны под его подошвой. Только при достижении этой области достаточно больших размеров пластические области возникают и под краями штампа, однако они не успевают развиться на глубину $\frac{b}{2}$ прежде, чем произойдет их смыкание с ОПД, развивающимися снизу. Только при $\frac{E_{ш}}{E_0} > 50$ удастся выделить величину расчетного сопротивления. Следует также заметить, что по мере увеличения численного значения отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ форма уплотненного грунтового ядра, возникающего под штампом, меняется от криволинейной трапеции до треугольника с криволинейной границей (см. рис. 5, $a—e$).

Рассматривая процесс развития пластических областей под толстым штампом ($H^* = 6H$), отмечаем, что зарождение ОПД при всех рассмотренных значениях $\frac{E_{ш}}{E_0}$ начинается под краями штампа, а форма грунтового ядра имеет форму треугольника с криволинейной границей. При этом смыкание пластических областей происходит приблизительно на одной глубине.

В результате проведенных вычислений в качестве характерного примера построены графические зависимости вида $q_{экр}^R = f\left(\frac{E_{ш}}{E_0}\right)$ и $q_{экр}^{пл} = f\left(\frac{E_{ш}}{E_0}\right)$ для толстого штампа при $H^* = 6H$ и для штампа толщиной H , находящегося под действием эквивалентной равномерно распределенной нагрузки $q = 12\gamma_0 H$, которые представлены на рис. 6.

Оказалось, что графические зависимости $q_{экр}^R = f\left(\frac{E_{ш}}{E_0}\right)$ и $q_{экр}^{пл} = f\left(\frac{E_{ш}}{E_0}\right)$

для толстого штампа при $H^* = 6H$ (линии 1 и 2 соответственно на рис. 6, a) с точностью 93 % и 99 % аппроксимируются уравнениями прямой линии. Аналогичные кривые (рис. 6, b — линии 1 и 2 соответственно) для нагруженного ($q = 12\gamma_0 H$) штампа толщиной H с точностью 98 % и 96 % аппроксимируются полиномами второй степени.

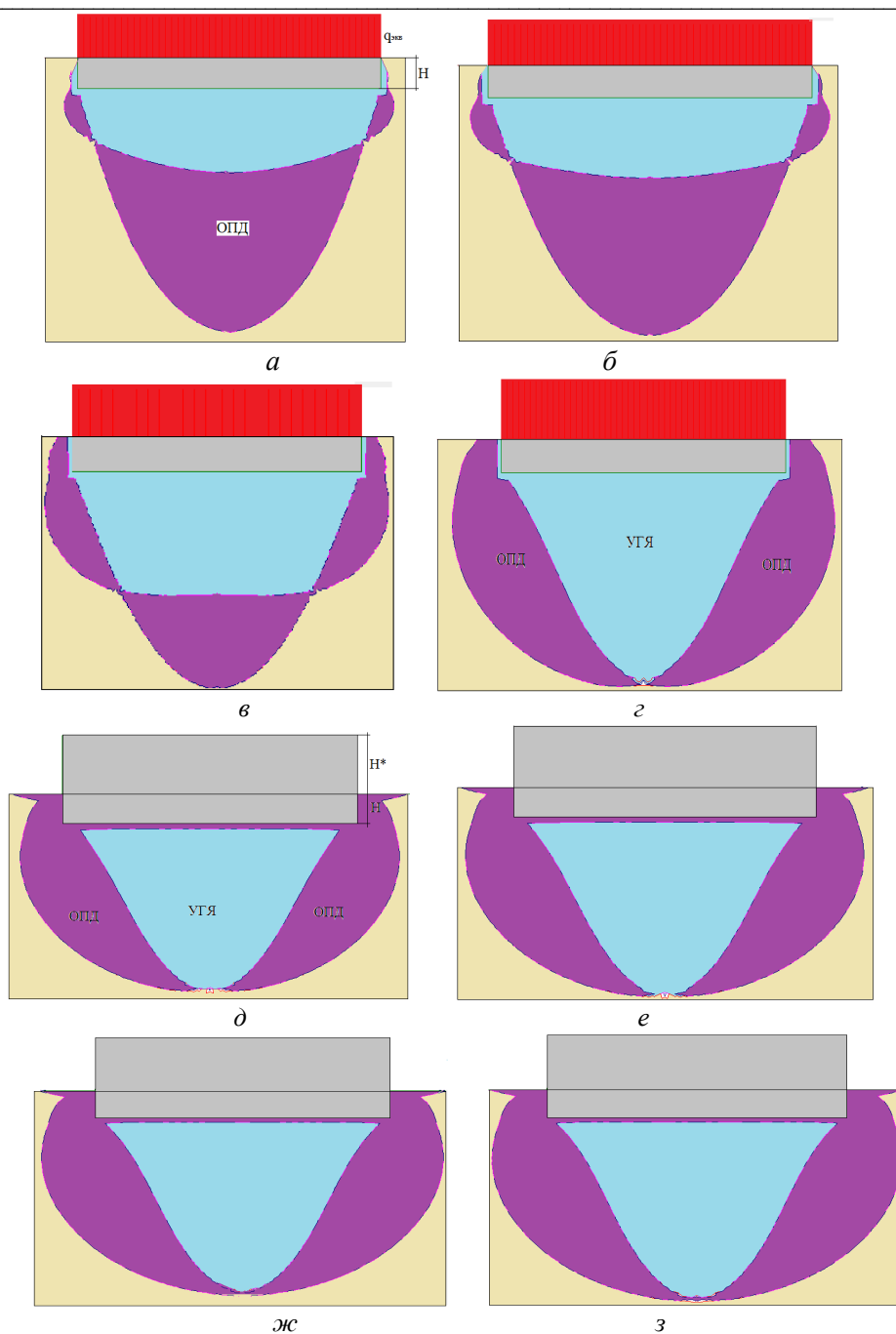


Рис. 5. Изображения кулоновских областей пластических деформаций в основании штампа толщиной H при достижении интенсивностью равномерно распределенной нагрузки предельно допустимого значения (смыкание ОПД) ($a—г$) и аналогичных областей в основании толстого штампа при $H^* = 6H$ ($д—з$) при величинах отношения модулей деформации материала штампа и грунта основания $\frac{E_{ш}}{E_0} = 5; 10; 100; 1000$ соответственно

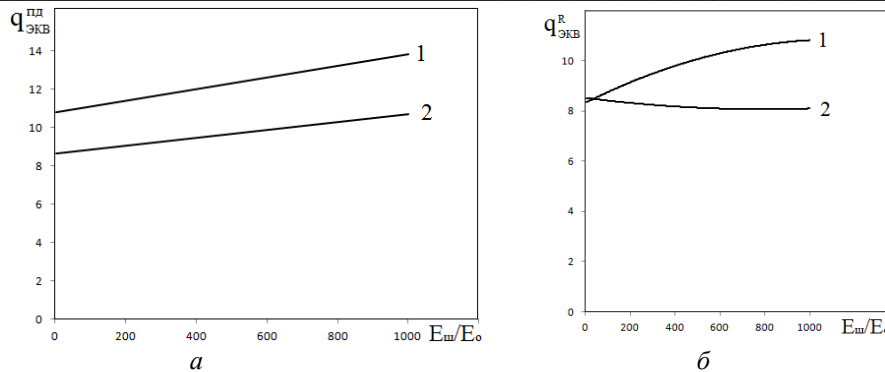


Рис. 6. Графические зависимости вида $q_{\text{экв}}^{\text{р}} = f\left(\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}\right)$ и $q_{\text{экв}}^{\text{пл}} = f\left(\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}\right)$ для тол-

стого штампа при $H^* = 6H$ (а) и аналогичные зависимости для штампа толщиной H , находящегося под действием равномерно распределенной нагрузки (б)

Сопоставление графических аппроксимаций показывает, что величина предельно допустимой нагрузки для толстого штампа на 17,0...25,9 % больше соответствующих значений для нагруженного штампа толщиной H (линии 1 на рис. 6). То же самое можно сказать и о величинах расчетного сопротивления, которые для толстого штампа при $H^* = 6H$ на 2,8...24,3 % больше, чем для штампа толщиной H при соответствующих значениях $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}$ (линии 2 на рис. 6).

Аналогичные результаты для периодического фундамента были получены нами ранее [14, 15].

Выводы

1. Максимально чувствительными к изменению величины отношения $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}$ являются вертикальные напряжения σ_z в точках, расположенных в

активной зоне фундамента. При росте величины $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}$ численные значения на-

пряжений σ_z под подошвами толстого штампа и штампа с эквивалентной нагрузкой уменьшаются, причем данная тенденция ярче выражена для толстого штампа эквивалентной высоты. Численные значения вертикальных напряжений в точках, расположенных на оси симметрии толстого штампа непосредственно под его подошвой, примерно на 24...30 % меньше аналогичных напряжений для штампа толщиной H .

2. Осадки штампа толщиной H при величине внешней эквивалентной нагрузки, равной $q = 12\gamma_0 H$, для всех рассмотренных выше значений величины отношения $\frac{E_{\text{ш}}}{E_0}$ и при остальных равных условиях примерно на 43...44 % больше, чем осадки толстого штампа с высотой надфундаментной части $H^* = 6H$.

3. Области пластических деформаций под штампом толщиной H начинают образовываться не под его краями, а в глубине активной зоны под его подошвой.

По мере увеличения численного значения отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$ форма уплотненного грунтового ядра, возникающего под штампом, меняется от формы криволинейной трапеции до формы треугольника с криволинейными боковыми сторонами. Процесс развития ОПД под толстым штампом при всех рассмотренных значениях $\frac{E_{ш}}{E_0}$

начинается под его краями, а форма грунтового ядра в виде треугольника с криволинейной границей остается постоянной. При этом смыкание пластических областей происходит приблизительно на одной глубине.

4. Величины предельно допустимой нагрузки и расчетного сопротивления для толстого штампа ($H^* = 6H$) на 17,0...25,9 % и на 2,8...24,3 % больше соответствующих значений для штампа толщиной H , нагруженного эквивалентной нагрузкой при рассмотренных в работе численных значениях отношения $\frac{E_{ш}}{E_0}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Schleicher F. Zur Theorie des Baugundes. Der Bauingenieur. Berlin, 1926. S. 48—49.
2. Маслов Н. Н. Длительная устойчивость и деформации смещения подпорных сооружений. М. : Энергия, 1968.
3. Цытович Н. А. Механика грунтов. М. : Высш. шк., 1983. 228 с.
4. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский и др. М. : Высш. шк., 2007. 566 с.
5. Егоров К. Е. К вопросу о деформации основания конечной толщины // Механика грунтов : сб. тр. НИИОСП. № 34. М. : Госстройиздат, 1958.
6. Егоров К. Е. К вопросу расчета основания под фундаментом с подошвой кольцевой формы Механика грунтов : сб. тр. НИИОСП. № 34. М. : Госстройиздат, 1958.
7. Кушнер С. Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений. Запорожье, 2008. 496 с.
8. FEA : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 / О. А. Богомолова и др. ; зарег. 23 июля 2015 г.
9. Coulomb C. A. Application des riles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L'architecture // Memories de savants strangers de L'Academlie des sciences de Paris, 1773. 233 p.
10. Coulomb C. A. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemesde statique relatifs, a la architecture // Mem. Acad. Roy. Div. Sav. 1776. Vol. 7. Pp. 343—387.
11. Флорин В. А. Основы механики грунтов : в 2 т. Т. 1. Л. : Госстройиздат, 1959. 360 с.
12. Флорин В. А. Основы механики грунтов : в 2 т. Т. 2. Л. : Госстройиздат, 1961.
13. Березанцев П. Г. Расчет прочности оснований сооружений. Л. — М. : Госстройиздат, 1960. 142 с.
14. Богомолова О. А., Богомолов А. Н., Донсков Р. А., Пристансков А. А. Несущая способность основания системы параллельных заглубленных ленточных фундаментов конечной жесткости // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 4—13.
15. Исследование несущей способности и осадок основания системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов на мелкоразмерных моделях / О. А. Богомолова и др. // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2010. Вып. 20(39). С. 21—27.

© Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В. Численная оценка влияния жесткости надфундаментной части сооружения и деформационных свойств грунтового массива на осадки и устойчивость основания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 6—18.

Об авторах:

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

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

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

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

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

^a *Industrial University of Tyumen*

^b *Volgograd State Technical University*

NUMERICAL EVALUATION OF THE EFFECT OF THE RIGIDITY OF THE ABOVE-FOUNDATION PART OF THE STRUCTURE AND THE DEFORMATION PROPERTIES OF THE SOIL MASSIF ON PRECIPITATION AND THE STABILITY OF THE BASE

The paper presents part of the results of numerical studies of the stress state, sediment and stability of the stamp base of finite rigidity. The concepts of equivalent stamp thickness and equivalent load are introduced. An approach is proposed to take into account the rigidity of the above-foundation part of the structure and the deformation modules of the soil and the stamp material. As a result of the analysis of the obtained results, it was found that the vertical stresses σ_z at points located in the ac-

tive zone of the foundation are the most sensitive to changes in the value of the $\frac{E_s}{E_0}$ ratio. With an

increase in the value of $\frac{E_s}{E_0}$, the numerical value of the stresses σ_z under the soles of a thick stamp

and a stamp with an equivalent load decreases, moreover, this trend is more pronounced for a thick stamp of equivalent height. Numerical values of vertical stresses at points located on the axis of symmetry of a thick stamp directly under its sole are approximately 24...30 % less than similar stresses for a stamp with a thickness of H . The precipitation of a stamp with a thickness of H with

an external equivalent load equal to $q = 12\gamma_0 H$ for all the values of the ratio $\frac{E_s}{E_0}$ considered above

and under other equal conditions is approximately 43...44 % greater than the precipitation of a thick stamp with a height of the above-foundation part $H^* = 6H$. Areas of plastic deformations under the stamp with thickness H begin to form not under its edges, but in the depth of the active zone under

its sole. As the numerical value of the $\frac{E_s}{E_0}$ ratio increases, the shape of the compacted soil core that

occurs under the stamp changes from the shape of a curved trapezoid to the shape of a triangle with curved sides. The process of development of OPD under a thick stamp with all the considered values

of $\frac{E_s}{E_0}$ begins under its edges, and the shape of the soil core in the form of a triangle with a curved

border remains constant. In this case, the closure of plastic areas occurs at approximately the same

depth. The values of the maximum permissible load and design resistance for a thick stamp ($H^* = 6H$) are 17.0...25.9 % and 2.8...24.3 % higher than the corresponding values for a stamp with a thickness of H loaded with an equivalent load with the numerical values of the $\frac{E_s}{E_0}$ ratio considered in the work.

Key words: rigidity of the superfundament structure, equivalent stamp height, equivalent load, physical, mechanical and deformation properties, stress state, precipitation of the stamp base of finite rigidity, design resistance, maximum permissible load.

For citation:

Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V. [Numerical evaluation of the effect of the rigidity of the above-foundation part of the structure and the deformation properties of the soil massif on precipitation and the stability of the base]. *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], 2022, iss. 2, pp. 6—18.

About authors:

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

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

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

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

УДК 624.131.1:624.131.22

Ю. И. Олянский^а, А. В. Татаркин^б, Д. А. Кузьменко^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Пермский государственный научный исследовательский университет*

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА САРМАТСКИХ ГЛИН

Проанализированы показатели механического и минерального состава и засоления сарматских глин из Центрального Предкавказья и Северо-Западного Причерноморья. Выявлен нестационарный режим изменчивости большинства показателей, обусловленный различной соленостью воды в западной и восточной частях акватории Сарматского морского бассейна замкнутого типа.

Ключевые слова: сарматские глины, Сарматское море, гранулометрический состав, микроагрегатный состав, степень засоления.

Актуальность проблемы, затронутой в статье, определяется необходимостью разработки методов прогнозирования показателей состава и свойств глинистых грунтов, подверженных длительному воздействию воды при техногенезе. Исследования проблемы на данном этапе носят фундаментальный характер, их результаты будут использованы при разработке практических рекомендаций для применения в практике инженерно-геологических изысканий.

Научная новизна и теоретическая значимость работы состоят в том, что в ней на примере морских набухающих глин уточняются и углубляются теоретические положения, касающиеся формирования состава и свойств глинистых пород, на основе раскрытия и установления роли физико-химических процессов в системе «поровая вода — порода», разработке которых посвящены исследования В. А. Приклонского, И. В. Попова, Е. М. Сергеева, В. И. Осипова, В. А. Королева и В. Д. Ломтадзе и др.

Природа инженерно-геологических свойств сарматских глин тесно связана с историей и режимом морского бассейна, в котором происходило накопление осадков в сарматский век, а также с последующими условиями их существования. Сарматское море занимало площадь, сопоставимую с площадью Средиземного моря, и пространство от Венского бассейна до пустыни Каракумы [1]. Это был сложный замкнутый бассейн, представляющий систему внутренних морей, соединенных друг с другом проливами. Из-за замкнутости моря приливы и отливы в нем были мало заметны, их сила с глубиной должна была угасать, что отражалось в накоплении глинистых осадков на незначительном расстоянии от берега и на небольшой глубине.

В районе Предкавказья выделяется три пролива: Ставропольский, Терский и Кубанский. У берега Кавказского острова в узкой прибрежно-мелководной зоне накапливались довольно пестрые по составу отложения. К северу морские глубины менялись, и можно было заметить отложения глин. Такая обстановка сохранялась в начале сарматского периода и в первой половине века.

В главном бассейне возвышается несколько островов: Добруджа, Крым, Кавказ и Каратау. Первые три отделяют северную половину бассейна от

южной. В северной половине можно различить следующие подразделения: Дакийский, Галицийский и Конский заливы (рис. 1).

Анализируя условия накопления осадков в Сарматском морском бассейне, Н. И. Андрусов отмечал, что характер фауны среднесарматского яруса наиболее подходит к фауне черноморской. Это означает, что соленость вод Сарматского моря была ниже нормальной, приближалась к солености Черного моря. Между тем соленость замкнутого морского бассейна (каким было Сарматское море) зависит от притока воды из рек и ее убытия через испарение. Исследуя морскую фауну, Н. И. Андрусов убедительно доказал, что соленость воды галицийско-подольско-дакийской и крымско-кавказской частей Сарматского моря была разной: в первой воды менее соленые, во второй — повышенной солености. Объяснение этому он находил в опреснении воды западной части Сарматского моря речными водами, стекающими с территории нынешней Восточной Европы. В то время как речной сток с Крымско-Кавказского региона был небольшим. На различную соленость западной и восточной частей Сарматского моря указывает распределение пресноводного моллюска *Cerithium*. В сарматских отложениях Дакийского и Галицийского заливов он встречается в изобилии, а на востоке почти полностью исчезает. Это доказывает, что сарматские слои в восточной части отлагались из более соленых вод, чем в западной части бассейна.

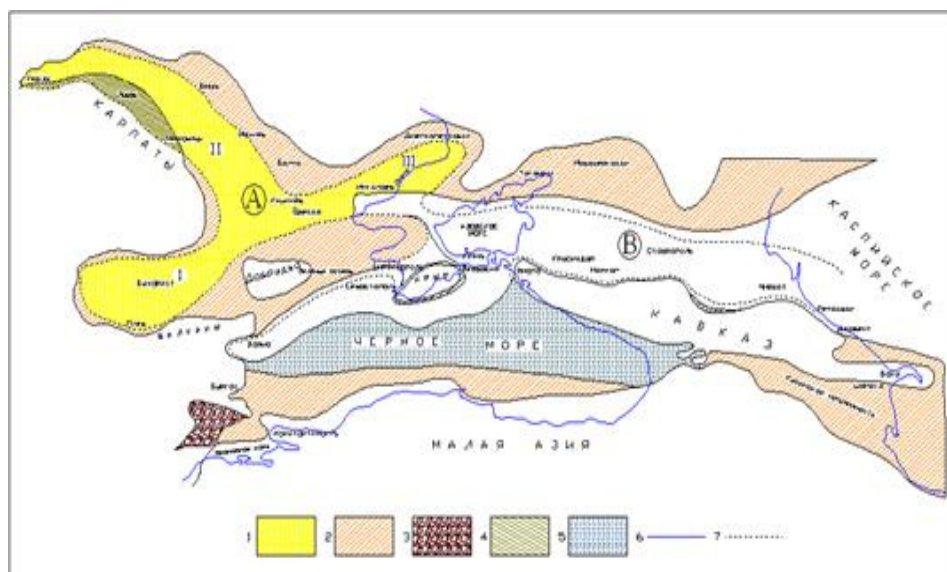


Рис. 1. Контуры Сарматского моря (по Н. И. Андрусову): I — Дакийский залив; II — Галицийский залив; III — залив Конки; 1 — район распространения 2-го средиземноморского яруса (покрытого сарматскими отложениями); 2 — трансгрессирующие сарматские отложения; 3 — «понтические» слои Хохштеттера в бассейне Эркене (фация сарматского и мезотического ярусов); 4 — область, покинутая морем после отложения 2-го средиземноморского яруса; 5 — вероятное присутствие чокракских, спаниодонтовых и сарматских слоев; 6 — вероятная береговая линия Сарматского моря; 7 — вероятная береговая линия моря во время отложения чокракских слоев; А — район исследования незасоленных сарматских глин между речья Прут — Днестр; Б — район исследования засоленных сарматских глин Центрального Предкавказья

Таким образом, условия осадконакопления в Сарматском морском бассейне были различными. На западе в результате периодического опреснения воды речным стоком соленость уменьшалась, а на востоке, где речной сток был не столь значительным, соленость в целом была выше. В силу этого глинистые осадки, накопившиеся в более соленой воде восточной части моря, должны были сформировать глинистые породы с более высокой минерализацией порового раствора, а осадки, сформировавшие глинистые породы в западной части моря, должны иметь невысокую минерализацию порового раствора.

Механический состав. Степень дисперсности глинистых пород оценивалась по результатам гранулометрического и микроагрегатного анализов.

Гранулометрический анализ, отражающий механический состав пород при наибольшей пептизации, выполнялся пипеточным методом после растирания навески в присутствии 5%-го раствора пирофосфата натрия. Как показывают исследования различных авторов, применение пирофосфорнокислого натрия дает наибольший эффект дезагрегации глинистых пород. Такое действие этого реагента обуславливается рядом причин: заменой на натрий поглощенных катионов грунта, созданием щелочной реакции среды, связыванием в комплексы свободных ионов кальция железа. Все это приводит к повышению порога коагуляции глинистых частиц. Микроагрегатный анализ, определяющий вторичную (природную) дисперсность, производился по методу Н. А. Качинского, исключаящему какое-либо воздействие на образец [2].

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 1 и в табл. 1, свидетельствует о том, что гранулометрический состав Северо-Западного Причерноморья и Центрального Предкавказья практически одинаковый (рис. 2, 3). Это указывает на то, что территория поступления терригенного материала в Сарматское море характеризовалась одинаковым геологическим строением и являлась, по существу, единым геологическим регионом — Русской платформой. Поступление терригенного материала из Кавказского региона и других горных областей было менее заметным [3].

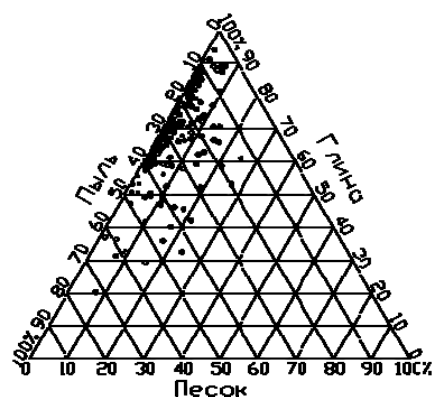


Рис. 2. График-треугольник гранулометрического состава сарматских глин:
 ○ — Центральное Предкавказье; ● — Северо-Западное Причерноморье

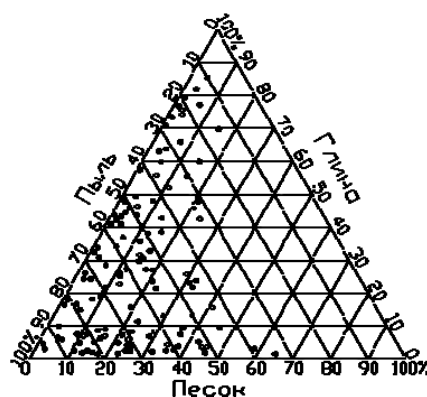


Рис. 3. График-треугольник микроагрегатного состава сарматских глин:
 ○ — Центральное Предкавказье; ● — Северо-Западное Причерноморье

Таблица 1

Механический состав среднесарматских глин

Статистические характеристики	Центральное Предкавказье				Северо-Западное Причерноморье			
	Содержание фракции, %			Коэффициент агрегированности для частиц	Содержание фракции, %			Коэффициент агрегированности для частиц
	Песок $\geq 0,05$ мм	Пыль $0,05 \dots 0,01$ мм	Глина $0,01 \dots 0,005$ мм		Песок $\geq 0,05$ мм	Пыль $0,05 \dots 0,01$ мм	Глина $0,01 \dots 0,005$ мм	
Пределы колебания	$\frac{0,2 \dots 36,0}{0,7 \dots 65,1}$	$\frac{1,5 \dots 72,2}{0,0 \dots 84,1}$	$\frac{0,7 \dots 79,0}{0,1 \dots 36,8}$	$\leq 0,005$ мм $\leq 0,001$ мм	$\frac{0,3 \dots 6,78}{0,2 \dots 8,11}$	$\frac{10,9 \dots 42,1}{19,5 \dots 71,2}$	$\frac{46,1 \dots 93,0}{23,4 \dots 74,8}$	$\leq 0,005$ мм $\leq 0,001$ мм
Среднее $\bar{X}$	$\frac{8,96}{25,05}$	$\frac{22,81}{58,62}$	$\frac{68,17}{15,33}$	4,45	$\frac{2,02}{3,77}$	$\frac{24,07}{49,04}$	$\frac{72,97}{47,19}$	1,73
Стандартное отклонение S	$\frac{7,50}{13,03}$	$\frac{12,64}{19,86}$	$\frac{12,95}{17,89}$	6,1	$\frac{1,10}{18,01}$	$\frac{10,53}{15,42}$	$\frac{12,4}{16,52}$	0,44
Дисперсия S^2	$\frac{56,25}{169,78}$	$\frac{159,77}{394,42}$	$\frac{167,7}{320,0}$	37,21	$\frac{1,21}{324,36}$	$\frac{108,99}{237,78}$	$\frac{153,76}{276,22}$	0,64
Коэффициент вариации $V, \%$	$\frac{83,71}{52,02}$	$\frac{55,41}{33,08}$	$\frac{19,0}{116,7}$	137,08	84,30	44,0	35,0	41,57
Ошибка среднего арифметического $\frac{S}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,87}{1,73}$	$\frac{1,34}{2,63}$	$\frac{1,37}{2,37}$	0,82	$\frac{0,45}{4,28}$	$\frac{2,72}{3,98}$	$\frac{3,20}{4,29}$	0,33
				5,1				44,24

Примечание. В числителе — результаты гранулометрического анализа, в знаменателе — микроагрегатного.

В соответствии с гранулометрической классификацией дисперсных осадочных пород И. М. Горьковой, наиболее распространенной группой являются глинистые высокодисперсные породы, содержащие более 50 % глинистых частиц. Породы этой группы характерны для сарматских глин Северо-Западного Причерноморья и Центрального Предкавказья, где они составляют половину от изученных образцов. Здесь реже встречаются породы двух других групп — пылеватые и смешанные. На их долю приходится около 5...30 % от всех рассматриваемых образцов [4].

Анализируя степень агрегизации сарматских глин Северо-Западного Причерноморья, авторы [2] приводят данные о распределении образцов глинистых пород Молдовы по типам структурных связей, используя при этом классификацию И. М. Горьковой: коагуляционные — 3,28 %, пластифицировано-коагуляционные — 42,64 %, смешанные коагуляционно-цементационные — 47,52 %, цементационные — 6,56 %. Данные, приведенные в табл. 1, позволяют утверждать, что степень агрегированности средне-сарматских глин Центрального Предкавказья значительно выше (более чем в два раза), в то время как у нижнесарматских глин из этого региона она даже меньше. У этих глин практически не встречаются образцы с цементационным типом структурных связей.

Химический состав. Определение состава и содержания водорастворимых солей сарматских глин проводилась при помощи водных и солянокислых вытяжек, а карбонатов — кальциметрическим методом. Содержание органического вещества определялось по методике Тюрина. Для определения состава водорастворимых солей в сарматских глинах готовились водные вытяжки при соотношении грунта к воде 1 : 5. Результаты анализов использовались для расчета гипотетического состава солей. Количество легкорастворимых солей определялось как сумма всех гипотетических солей за вычетом содержания CaSO_4 и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Суммарное содержание легкорастворимых и среднерастворимых солей (плотный остаток) явилось критерием для оценки степени засоленности и глин на рассматриваемой территории [6, 7].

Анализ данных (табл. 2) свидетельствует о том, что сарматские глины на территории Северо-Западного Причерноморья относятся к незасоленным. Плотный остаток на данной территории не превышает 0,3 г/100 г сух. пор. На территории Центрального Предкавказья засоленность сарматских глин колеблется от слабой до сильной и изменяется от 0,29 до 8,3 г/100 г сух. пор., она неодинакова в разных горизонтах сармата и в пределах каждого из них. Меньше всего водорастворимых солей содержится в делювиально-элювиальных отложениях — в среднем 0,23 %, что можно объяснить вымыванием из них солей в процессе переотложения минеральных частиц. Наибольшая засоленность наблюдается в элювиальной зоне, как нижнего, так и среднего сармата, и достигает до 7,8...8,3 г/100 г сух. пор.

По степени засоления сарматские глины Северо-Западного Причерноморья и Центрального Предкавказья различаются между собой (см. табл. 2).

Показатели засоления среднесарматских глин

	Центральное Предкавказье				Северо-Западное Причерноморье			
	Карбонатность, %	Гипс, %	Сухой остаток, г/100 г сух. пород	Органический углерод, %	Карбонатность, %	Гипс, %	Сухой остаток, г/100 г сух. пород	Органический углерод, %
Статистические характеристики								
Среднее $\bar{X}$	5,92...24,00	0,006...1,254	0,29...8,30	0,34...1,85	1,71...23,30	0,03...0,42	0,63...0,22	0,08...2,19
Среднее S	11,61	0,13	5,14	1,40	12,47	0,13	0,12	0,62
Количественное опред. предела колебания	285	285	285	285	28	22	25	24
Дисперсия S^2	27,46	0,09	12,53	23,23	51,62	0,01	0,002	0,34
Коэффициент вариации V , %	45,13	238,46	68,87	40,0	37,92	94,07	37,14	93,56
Ошибка среднего арифметического $\frac{S}{\sqrt{N}}$	0,31	0,02	0,2	0,03	0,88	0,02	0,01	0,11

Общее содержание в породах карбонатов определялось кальциметрическим методом. По результатам статистической обработки, наибольшей карбонатностью обладают глины среднего сармата как в Северо-Западном Причерноморье (1,71...23,3, среднее 12,47 %), так и в Центральном Предкавказье (5,92...24,00, среднее 11,61 %). Средний сармат Северо-Западного Причерноморья и Центрального Предкавказья по содержанию карбонатов различается между собой (см. табл. 2).

Содержание в сарматских глинах гипса рассчитывалось по данным химических анализов водных и солянокислых вытяжек. В целом содержание гипса в глинах обоих регионов близко между собой и составляет в среднем 0,07...0,13 %.

На рассматриваемой территории отложения сарматских глин характеризуются очень незначительным содержанием органических веществ. В целом для описываемой толщи глин содержание органического углерода изменяется в интервале 0,02...2,41 %. Распределение органики по разрезу и площади достаточно равномерное, о чем свидетельствуют близкие значения статистических параметров содержания органического углерода для всей рассматриваемой территории. Основными факторами, определяющими содержание органики в глинистых породах, являются: выветривание, механический состав морских осадков и морская фауна, в том числе с известковым скелетом. Детальный анализ влияния данных факторов на образование органического углерода в сарматских глинах не проводился. Тем не менее хорошо соблюдается связь органики и карбонатности глин, что подтверждает выводы К. Коренса (1955) о наличии между этими показателями прямой зависимости. Менее карбонатные глины верхнего сармата из Северо-Западного Причерноморья содержат в среднем 0,43 % органического углерода, а более карбонатные глины среднего сармата из этого же региона содержат в 1,5 раза больше органического углерода [8, 9].

Минеральный состав. Минеральный состав глинистых отложений сармата изучался методами рентгеноструктурного, электронно-микроскопического и термического анализов. Глинистая фракция для анализа выделялась из суспензии на ультразвуковом диспергаторе. Качественная оценка состава производилась на просвечивающем электронном микроскопе при увеличении 9,0 и 13,5 тыс. раз. Количественные исследования выполнялись на рентгеновском дифрактометре. Запись образцов осуществлялась в воздушно-сухом состоянии после насыщения этиленгликолем и после прогрева [10, 11].

Качественные исследования позволили установить, что сарматские глины изучаемой территории являются полиминеральными. Основными минералами, входящими в дисперсную фракцию, являются монтмориллонит и гидрослюда. Количественные соотношения между этими двумя минералами непостоянны. В виде примесей присутствует каолинит, в некоторых образцах — кальцит, сидерит (Центральное Предкавказье), гидроокислы железа (Северо-Западное Причерноморье), а также смешаннослойные минералы [12—14].

Гидрослюда, как правило, представлена изометрично-пластинчатыми частицами, редко удлиненной формы, с четкими угловатыми или сглаженными краями, от непрозрачных для электронов до почти прозрачных.

Монтмориλλονит чаще всего присутствует в шлифах в виде тонких мелких чешуек и хлопьевидных агрегатов с нечеткими контурами или плотных компактных агрегатов, толщина которых постепенно уменьшается к их краям. Кроме гидрослюда и монтмориллона, также присутствуют включения других глинистых минералов, таких как хлорит и каолинит, имеющие псевдогексагональную форму; смешаннослойных образований типа гетита, монтмориллона-гидрослюда, галлузита, кальцита и др. На долю этих минералов приходится не более 10...15 % от общего объема дисперсной фазы [15—18].

Анализ данных на всей рассматриваемой территории показывает, что основными минералами глинистой фракции сарматских глин являются гидрослюда и монтмориллона, суммарное содержание которых составляет 70...95 % (рис. 4).

Остальной состав сарматских глин приходится на примеси, состоящие из каолинита, галлузита, глауконита, сидерита, гидроокислов железа, гетита, гидрогетита и др.

Снос материала происходил, по-видимому, в основном с Русской платформы и частично с Кавказа и Добруджской горной системы. Накопление осадков в условиях опресняющего бассейна способствовало сохранению преимущественно гидрослюдисто-монтмориллоновых образований с небольшой примесью минералов каолиновой группы. Несколько более повышенное содержание монтмориллона в глинах Центрального Предкавказья может служить доказательством более высокой вулканической активности в сарматское время Кавказских гор, чем Добруджской горной системы, либо стадийным преобразованием гидрослюда вследствие постгенетического преобразования глинистых пород в более влажной климатической зоне Центрального Предкавказья (Универ, 1958, Котельников, 1963).

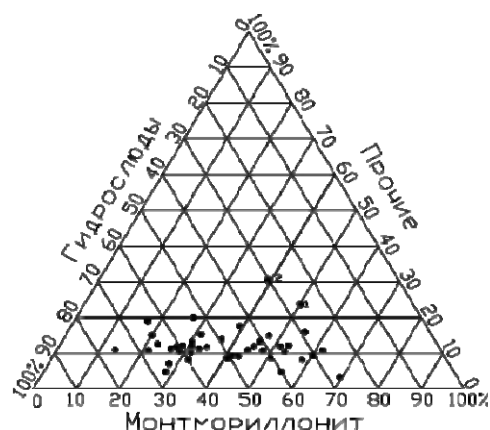


Рис. 4. Минеральный состав дисперсной фракции сарматских глин: ● — Северо-Западное Причерноморье; 1, 2 — средние значения для нижнесарматских и среднесарматских отложений Центрального Предкавказья

Анализ литологических особенностей сарматских глин позволил сделать следующие основные *выводы*.

1. Гранулометрический состав глин из Центрального Предкавказья и Северо-Западного Причерноморья достаточно однородный, что свидетельствует

о преимущественном сносе терригенного материала с одной геологической провинции — Русской платформы.

2. По степени засоления глин наблюдается существенное различие. Более засоленные глины (в среднем в 25 раз) распространены в Центральном Предкавказье, где они отлагались в условиях повышенной солености морской воды Сарматского моря, менее засоленные — в Северо-Западном Причерноморье, где морская вода опреснялась речным стоком с Русской платформы.

3. Повышенное содержание водорастворимых солей в глинах Центрального Предкавказья нашло свое отражение в степени их агрегированности. Коэффициенты агрегированности среднесарматских глин для частиц размером менее 0,005 и менее 0,001 мм в 2,5 раза здесь выше, чем у глин Северо-Западного Причерноморья, в то время как степень агрегированности нижне-сарматских глин несколько меньше.

4. Результаты выполненных теоретических исследований будут положены в основу практических рекомендаций для специалистов, занимающихся исследованиями глинистых пород для проектирования инженерных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрусов Н. И. Южнороссийские неогеновые отложения 4. II—III (Сарматский ярус) // Академик Н. И. Андрусов : избран. тр. М. : Из-во АН СССР, 1961. Т. 1. 711 с.
2. Вещественный состав и инженерно-геологические свойства сарматских глин / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Д. А. Чарыков, Е. А. Степанова // Вестн. Акад. наук Респ. Башкортостан. 2017. Т. 22. № 1(85). С. 52—60.
3. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Мозгунов М. Д., Адзиев С. М. Инженерно-геологическая оценка вещественного состава и физико-механических свойств сарматских глин // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 48(67). С. 38—47.
4. Инженерно-геологические особенности сарматских глин краевых прогибов юга Русской платформы / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина и др. // Сергеевские чтения : материалы годич. сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидрогеологии. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. Вып. 14. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. С. 10—13.
5. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Хлуднева Т. Ю. Инженерно-геологические аспекты выветривания сарматских глин // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4(41). С. 308—315.
6. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Тихонова Т. М. Оценка устойчивости сарматских глин к длительному обводнению на основе результатов лабораторных исследований // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 32—42.
7. Геоэкологическая оценка территорий, сложенных лессовыми просадочными и набухающими породами / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Е. П. Канаши́нская, А. Ф. Алексеев, Б. Ф. Галай // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 82—93.
8. Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Алексеев А. Ф. Основные закономерности выщелачивания и изменения состава и свойств засоленных и незасоленных глинистых пород // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 42—53.
9. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Прогноз показателей прочности сарматских глин оснований гидротехнических сооружений при длительном обводнении // Гидротехническое строительство. 2018. № 12. С. 25—30.
10. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Инженерно-геологические проблемы освоения территорий распространения дисперсных грунтов в сейсмоактивных регионах // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1(78). С. 30—37.

11. 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.
12. Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A. Prediction of indexes of stability of sarmatian clays of foundations of hydrotechnical structures with long-term flooding // Power Technology and Engineering. 2019. Vol. 53. No. 1. Pp. 51—55.
13. Bogomolov A. N., Olyansky Y. I., Shekochihina E. V. Prediction of Strength of Sarmat Clays Under the Conditions of Long-Term // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. Vol. 55. No. 2. Pp. 96—102.
14. Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kuzmenko I. Y. The forecast of durability indicators of the Sarmatian clays underneath of engineering structures affected by technogenic floodwaters // Procedia Engineering. Vol. 150. 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / Ed. by A. A. Radionov. Elsevier publishing, 2016. Pp. 2213—2217.
15. Olyanskii Y. I., Shchekochikhina 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. No. 5. Pp. 545—548.
16. Osipov V. I. Physicochemical theory of effective stresses in soils // Water Resources. 2014. Vol. 41. No. 7. Pp. 801—818.
17. Osipov V. I. Large-Scale thematic geological mapping of Moscow Area // Engineering Geology for Society and Territory. Vol. 5. Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation, 2015. Pp. 11—16.
18. Osipov V. I. Anthropization and current tasks of earth sciences // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2016. Vol. 86. No. 4. Pp. 276—284.

© Олянский Ю. И., Татаркин А. В., Кузьменко Д. А., 2022

Поступила в редакцию
в декабре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Олянский Ю. И., Татаркин А. В., Кузьменко Д. А. Палеогеографические условия как основной фактор формирования вещественного состава сарматских глин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 19—29.

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

Татаркин Алексей Викторович — д-р техн. наук, доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Пермский государственный национальный исследовательский университет. Российская Федерация, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15; vsto08@mail.ru

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

Yurii I. Olyanskii^a, Aleksei V. Tatarkin^b, Denis A. Kuzmenko^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Perm State University*

PALEOGRAPHIC CONDITIONS AS BASIC FACTOR OF FORMATION OF MATERIAL COMPOSITION OF SARMAT CLAYS

The indicators of the texture and salinity of Sarmatian clays from the Central Ciscaucasia and the North-Western Black Sea region are analyzed. A non-stationary regime of variability of most of the indicators was revealed, due to the different salinity of water in the western and eastern parts of the water area of the closed-type Sarmatian sea basin.

Key words: Sarmatian clays, Sarmatian Sea, granulometric composition, micro-aggregate composition, degree of salinity.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Tatarkin A. V., Kuzmenko D. A. [Paleographic conditions as basic factor of formation of material composition of sarmat clays]. *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], 2022, iss. 2, pp. 19—29.

About authors:

Yurii I. Olyanskii — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olyansk@list.ru

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

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

УДК 692:536.2

А. Г. Перехоженцев

Волгоградский государственный технический университет

**О ЗАЩИТЕ ОТ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ
(РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НОРМ
ПО ТЕПЛОЗАЩИТЕ ЗДАНИЙ)**

В статье показана несостоятельность методики расчета влажностного состояния наружных ограждающих конструкций зданий, приведенной в действующих нормативных документах по теплозащите зданий, поскольку она не обеспечивает защиту от переувлажнения этих конструкций в холодный период года. Приводится простая и надежная методика определения плоскости возможной конденсации и определения требуемого сопротивления паропроницанию многослойных конструкций, обеспечивающего ненакопление конденсационной влаги в конструкции в холодный период года. Приводится методика комплексного расчета характеристик многослойных конструкций, отвечающих заданным требованиям.

Ключевые слова: многослойные ограждающие конструкции, температура в плоскости возможной конденсации, нормирование сопротивления паропроницанию, комплексный расчет конструкций, отвечающих требованиям теплозащиты и ненакопления влаги.

Введение

«Защита от переувлажнения наружных ограждающих конструкций зданий» — так называется восьмая глава действующих дублирующих друг друга нормативных документов по теплозащите зданий СП 50.13330.2012 (СП 50)¹ и СП 345.1325800.2017 (СП 345)². Защита от переувлажнения наружных ограждающих конструкций зданий на самом деле имеет важное практическое значение. Мокрые стены — это не только ухудшение теплозащитных свойств наружных ограждений и ухудшение санитарно-гигиенических условий в помещении, но и возможное разрушение переувлажненных конструкций в результате деструкции пористых материалов при переменном замерзании и оттаивании в зоне резких колебаний температуры в холодный период года.

Критика метода расчета защиты от переувлажнения СП 50

С целью недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции ее следует проектировать таким образом, чтобы сопротивление паропроницанию от внутренней поверхности до плоскости «возможной» конденсации влаги было не менее требуемого значения; так было сформулировано условие ненакопления влаги в прежних нормативных документах³ [1, 2], представленное формулой 8.1 в СП 50, заимствованной из этих документов:

$$R_{\text{оп}} = \frac{(e_{\text{в}} - E)}{E - e_{\text{н}}} R_{\text{ин}},$$

где E — максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации пара за годовой период эксплуатации.

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М., 2012.

² СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты. М., 2017.

³ СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М., 2004.

Именно формула 8.1 определяла условие ненакопления влаги в конструкциях, так как была получена для предельного состояния, когда в каком-либо сечении конструкции температура могла опуститься до температуры точки росы, т. е. появления возможности выпадения конденсата, так как парциальное давление водяных паров достигает максимальных значений. Однако суть и примечательность данной формулы заключается в том, что она получена при условии, в котором количество пара, которое приходит к плоскости возможной конденсации, равно количеству, которое уходит из него, т. е. выполняется условие ненакопления влаги в конструкциях $P_{\text{вх}} = P_{\text{вых}}$ или

$$\frac{e_{\text{в}} - E_{\text{к}}}{R_{\text{пв}}} = \frac{E_{\text{к}} - e_{\text{н}}}{R_{\text{по}} - R_{\text{пв}}}, \quad (1)$$

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

К сожалению, в действующие нормы СП-50 вместо понятия «плоскость возможной конденсации» введено новое — «плоскость максимального увлажнения». Понятие максимального увлажнения пористого материала предполагает *полное заполнение пор влагой*. Введение этого «новшества» нарушает условие ненакопления влаги в конструкциях (1) и смысл формулы 8.1. При этом плоскость максимального увлажнения странным образом определяется с помощью комплекса $f(t_{\text{м.у}})$, который якобы определяет температуру в плоскости максимального увлажнения [3].

Попробуем определить положение плоскости *максимального увлажнения* для трехслойной конструкции стены, состоящей из несущего слоя железобетона толщиной 100 мм, утепленного слоем минераловатных плит толщиной 100 мм с наружным железобетонным слоем толщиной 50 мм для г. Москвы: $t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$, $t_{\text{н.отр}} = -4,58^\circ\text{C}$, $e_{\text{в}} = 1403$ Па, $e_{\text{н.отр}} = 332$ Па. Коэффициенты теплопроводности и паропрооницаемости материалов соответственно равны: $\lambda_{\text{жб}} = 2,04$; $\mu_{\text{жб}} = 0,03$; $\lambda_{\text{мв}} = 0,045$; $\mu_{\text{мв}} = 0,32$; $\mu_{\text{жб}} / \lambda_{\text{жб}} = 0,015$; $\mu_{\text{мв}} / \lambda_{\text{мв}} = 7,1$. Сопротивление теплопередаче конструкции $R_{\text{усл}} = 2,45$; сопротивление паропрооницанию $R_{\text{п.о}} = 5,31$. Подставляя соответствующие значения в формулу 8.7 (СП 50), получим для постоянной части формулы

$$f(t_{\text{м.у}}) = 5330 \frac{5,31(20 + 4,58)}{2,45(1403 - 332)} = 265,5.$$

Определим значения комплекса для каждого слоя конструкции:

для железобетона $f(t_{\text{м.у}}) = 265,5 \cdot 0,015 = 3,98^\circ\text{C}/\text{Па}$;

для минераловатных плит $f(t_{\text{м.у}}) = 265,5 \cdot 7,1 = 1885^\circ\text{C}/\text{Па}$.

Для определения температуры в плоскости максимального увлажнения обратимся к табл. 11 СП 50, где комплекс $f(t_{\text{м.у}})$ для железобетона 3,98 и для минераловатных плит 1885 — таких значений нет (?). В СП 345 в усовершенствованной табл. 8.1 значению комплекса 1885 соответствует температура $-36,5^\circ\text{C}$, т. е. за пределами рассматриваемого диапазона температур (от $+20$ до $-4,58^\circ\text{C}$) (?). Абсурдность методики заключается даже в том, что

размерность комплекса, определяемого по формуле 8.7, — $^{\circ}\text{C}/\text{Па}$, а в таблицах другая (в СП 50 это $(^{\circ}\text{C})^2/\text{Па}$, в СП 345 — $(^{\circ}\text{K})^2/\text{Па}$). Возникает вопрос: как можно по значениям комплекса $f(t_{м.у})$ с размерностью $^{\circ}\text{C}/\text{Па}$ определять что-либо по значениям в таблицах, имеющим другую размерность?

На самом деле комплекс $f(t_{м.у})$ представляет собой отношение потока тепла к потоку пара, определенного для всего ограждения. Так как это отношение определяется для всего ограждения при одних и тех же условиях эксплуатации, то это отношение, как видно из примера, является величиной постоянной, не зависящей от положения слоев в конструкции и, соответственно, от распределения температуры и влагосодержаний, а следовательно, и не характеризует температуру в каких-либо плоскостях конструкции, в том числе и в плоскости максимального увлажнения, так как комплекс не определяет эту плоскость. При определении комплекса для каждого слоя ограждения как для отдельной конструкции, независимо от того, где этот слой расположен, отношение потоков умножается на некоторый коэффициент, представляющий собой отношение коэффициентов μ / λ конкретного слоя. В зависимости от того, больше или меньше единицы этот коэффициент, отношение потоков увеличивается или уменьшается соответственно. Однако это никак не влияет на распределение температуры или влагосодержаний в конструкции. Значения $f(t_{м.у})$ в табл. 11, якобы представляющей зависимости комплекса от температуры в плоскости максимального увлажнения, никакого отношения к формуле 8.7 СП 50 не имеют, поскольку имеют другую размерность, которая получена для зависимости $(236 + t_k)^2 / E(t_k)$, заимствованной из [4].

Возникает основной вопрос: каким образом такие непроверенные, не имеющие определенного физического смысла методики попадают в нормативные документы, обязательные для применения на всей территории России?

Уточнение расчетных параметров холодного периода

Известно, что увлажнение наружных ограждений зданий вследствие термической конденсации водяного пара происходит в сечениях, в которых температура в холодный период года опускается ниже температуры точки росы. В теплый период года влага, накопившаяся в холодный период, испаряется, т. е. происходит сушка конструкции [5, 6].

СП 50 рассматривает увлажнение конструкций почему-то в годовом цикле. Защита от переувлажнения наружных ограждений зданий имеет две целевых задачи: уменьшение теплопотерь в холодный период года вследствие увлажнения конструкции и недопущение термической конденсации влаги в зоне резких колебаний температуры, чтобы не допустить разрушение материалов конструкции вследствие попеременного замерзания и оттаивания влаги. В теплый период года очевидно, что влияние влажности как на теплозащиту зданий, так и на процессы замерзания и оттаивания неактуально. Следовательно, основные влажностные факторы, влияющие на теплозащитные свойства наружных ограждений, имеют место в холодный период года. Поэтому основным расчетным параметром при расчетах влажностного состояния наружных ограждений зданий следует считать температуру холодного периода года.

СП 50 за *расчетную температуру холодного периода года* рекомендует принимать среднюю температуру наружного воздуха с *отрицательными среднемесячными температурами*, включая отрицательные температуры переходного периода. Так, для Москвы эта температура равна $-4,58^{\circ}\text{C}$, для Краснодара $-0,2^{\circ}\text{C}$, для Красноярска $-11,5^{\circ}\text{C}$. Очевидно, что эти температуры не соответствуют *среднестатистическим температурам холодного периода года с вероятностью 0,94*, приведенным в столбце 6 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» (СП 131) таблицы климатических характеристик холодного периода. В соответствии с данными (ст. 6) СП 131 среднестатистические температуры холодного периода составляет в Москве -13°C , в Краснодаре -5°C , в Красноярске -20°C . Как видно, разница весьма существенная.

Следовательно, при расчетах влажностного состояния ограждающих конструкций за расчетную следует принимать температуру по СП 131⁴.

Определение плоскости конденсации в многослойной конструкции

Для того чтобы исключить переувлажнение наружных ограждений зданий в холодный период года, необходимо запроектировать многослойную конструкцию, в которой параметры слоев необходимо подобрать таким образом, чтобы поток пара как через внутреннюю поверхность ограждения P_v , так и через наружную P_n был не больше некоторого предельного значения, при котором парциальные давления водяных паров в каком-либо сечении e_k будут равны максимальному значению $E_k = f(t_k)$ при данной температуре. Этому значению соответствует определенный, также предельный градиент упругости водяного пара $\Delta e / \Delta t$, который можно определить как касательную к кривой максимальных парциальных давлений водяных паров $E_k = f(t_k)$ [5].

Идея метода заключается в решении обратной задачи, т. е. в нахождении касательной к кривой максимального насыщения водяных паров при предельном градиенте $\Delta e / \Delta t$, который определим из условий эксплуатации здания $(e_v - e_n) / (t_v - t_n) = \Delta e / \Delta t = \Delta E_k$, а затем определять параметры многослойной конструкции, отвечающей этим условиям.

Задача решается следующим образом. Если функцию $E = f(t)$ представить в виде полинома третьей степени, то первая производная этой функции будет квадратным уравнением, решение которого даст значение точки касания к заданной функции [7].

Значения парциального давления насыщенных водяных паров E имеют однозначную зависимость от температуры. Поэтому кривую максимального насыщения паров воды $E = f(t)$ в расчетном диапазоне температур, например от $+20$ до -25°C , можно с достаточной для инженерных расчетов точностью (расхождение табличных и расчетных значений составляет менее двух процентов) представить в виде полинома третьей степени следующим образом [8]:

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

Первая производная уравнения (2) представляет собой уравнение касательной к данной функции, то есть

⁴ СП 131.13330.2012. Строительная климатология. М., 2012.

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

Решая уравнение (3) относительно температуры, получим значение температуры в точке касания или значение температуры, при которой действительная упругость водяного пара равна максимальному значению $e = E$, т. е. температуру в плоскости возможной конденсации. Решение уравнения (3) имеет следующий вид:

$$t_k^- = -26,7 + \sqrt{17,5\Delta E_k - 131}, \quad (4)$$

где $\Delta E_k = (e_b - e_n) / (t_b - t_n)$, определяемое из условий эксплуатации здания.

Значение максимальной упругости водяных паров $E(t_k)$ в этой плоскости с температурой t_k определим из уравнения (2) или по таблицам значений парциальных давлений насыщенного водяного пара при различных значениях температуры⁵.

Зная эти параметры, несложно вычислить термические сопротивления конструкции от внутренней поверхности до зоны конденсации R' по формуле

$$R' = (t_b - t_k) R_o^{tp} / (t_b - t_{но}), \quad (5)$$

где $t_{но}$ — расчетная температура наружного воздуха наиболее холодного периода с обеспеченностью 0,94⁶.

При заданных материалах можно определить и сопротивление паропрооницанию конструкции от внутренней поверхности до плоскости конденсации $R'_{пв}$.

Требуемое сопротивление паропрооницанию определим для всей конструкции из условия (1) равенства потоков пара, которое вошло в плоскость конденсации в холодный период года и которое вышло, т. е.

$$R_{оп}^{tp} = R'_{пв} \left(1 + \frac{E_k - e_n}{e_b - E_k} \right). \quad (6)$$

Проектирование многослойных ограждающих конструкций, отвечающих нормативным требованиям

Идея предлагаемого метода заключается в том, что параметры тепло- и пароизоляционных слоев многослойной ограждающей конструкции назначаются не умозрительно, а потом проверяются на соответствие норм, а определяются расчетом непосредственно в соответствии с требованиями норм [9].

Для выполнения требований норм по энергосбережению наружные ограждающие конструкции, как правило, должны представлять собой многослойные системы, в которых всегда можно выделить два слоя, один из них должен выполнять функцию теплозащиты, а другой регулировать диффузию пара в ограждении. При этом для обеспечения надежных эксплуатационных свойств многослойная конструкция должна отвечать следующим требованиям:

⁵ СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2004.

⁶ СП 131.13330.2012. Строительная климатология. М., 2012.

$$\begin{cases} R_o^{TP} / r = R_b + \sum R_{ik} + R^{YT} + R^{III} + R_n, \\ R_{on}^{TP} = R_{bn} + \sum R_{nik} + R_{n}^{YT} + R^{III} + R_{nn}, \end{cases} \quad (7)$$

где R_b, R_n, R_{bn}, R_{nn} — сопротивления тепло- и влагообмена внутренней и наружной поверхности ограждения соответственно; $\sum R_{ik}, \sum R_{nik}$ — суммы термических сопротивлений и сопротивлений паропрооницанию конструктивно заданных слоев ограждения; $R^{YT}, R^{III}, R_n^{YT}, R_{nn}^{III}$ — термические сопротивления и сопротивления паропрооницанию утепляющего и пароизоляционного слоев; r — коэффициент теплотехнической неоднородности.

Продemonстрируем применение данной методики, используя комплексный расчет тепло- и пароизоляции [10] на конкретном примере.

Пример. Требуется определить в трехслойной железобетонной стеновой панели требуемые значения толщины утеплителя и допустимую толщину наружного железобетонного слоя, исполняющего роль пароизоляции, если толщина внутреннего слоя задана конструктивными требованиями и равна 100 мм.

Исходные данные

Жилой дом в Москве. Условия эксплуатации «Б»:

$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_n = t_{xn} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{но} = -13 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{оп} = -2,2 \text{ }^\circ\text{C}$; $z_{оп} = 205 \text{ сут.}$

$\phi_b = 60 \text{ } \%$; $\phi_n = 83 \text{ } \%$; $\tau_p = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ (при $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\phi_b = 60 \text{ } \%$).

Характеристики материалов:

железобетон, $\gamma_o = 2500 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_A = 2,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$; $\mu = 0,03 \text{ мг/(м} \cdot \text{ ч} \cdot \text{ Па)}$;

минераловатные плиты, $\gamma_o = 100 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_A = 0,042 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$; $\mu = 0,32 \text{ мг/(м} \cdot \text{ ч} \cdot \text{ Па)}$;

$E_b = 2338 \text{ Па}$; $e_b = E_b \cdot 60/100 = 1403 \text{ Па}$;

$E_n = 63 \text{ Па}$; $e_n = E_n \cdot 83/100 = 52 \text{ Па}$.

Решение

Определим требуемое сопротивление теплопередаче:

$\text{ГОСП} = (20 - (-2,2))205 = 4551 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$

$R_{on}^{TP} R_o^{TP} = (t_b - t_n) / (t_b - \tau_p) \alpha_b + k \cdot \text{ГОСП} \cdot 10^{-4} = (20 + 25) / (20 - 12) 8,7 + 3,5 \cdot 0,4551 = 2,239 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт.}$

С учетом коэффициента неоднородности $r = 0,7$ $R_{on}^{TP} R_o^{TP} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт.}$

Определим требуемое сопротивление паропрооницанию:

$\Delta\tau = (t_b - t_{но}) = (20 + 13) = 33 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\Delta e = e_b - e_n = 1403 - 52 = 1351 \text{ Па}$;

$\Delta e / \Delta t = 1351 / 33 = 40,9 \text{ Па/}^\circ\text{C.}$

Определяем температуру в плоскости конденсации:

$t_{\kappa} = -26,7 + \sqrt{17,5 \cdot 40,9 - 131} = -26,7 = -26,7 + 24,2 = -2,5 \text{ }^\circ\text{C.}$

По формуле (2) определим соответствующее температуре $-2,5^{\circ}\text{C}$ максимальное парциальное давление водяных паров в плоскости конденсации $E_k = 496 \text{ Па}$.

Определим сопротивление теплопередаче до плоскости конденсации:

$$R_k = (t_b - t_k) R_o^{\text{тр}} / (t_b - t_{\text{но}}) = (20 + 2,5) 3,2 / (20 + 13) = 2,18 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

По величине сопротивления теплопередаче R_k определим слой, в котором расположена плоскость конденсации:

$$R_b = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}; R_l = 0,10 / 2,04 = 0,049 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_k^{\text{yt}} = 2,18 - 0,115 - 0,049 = 2,02 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Плоскость конденсации расположена в утеплителе на расстоянии от внутренней поверхности слоя, равном

$$\delta' = R_k^{\text{yt}} \cdot \lambda^{\text{yt}} = 2,02 \cdot 0,042 = 0,08 \text{ м}.$$

Сопротивление паропроницанию слоев конструкции от внутренней поверхности до зоны конденсации будет равно

$$R'_{\text{пв}} = (0,10 / 0,03) + (0,08 / 0,32) = 3,33 + 0,26 = 3,59 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию определим по формуле

$$R_{\text{оп}}^{\text{тр}} = R'_{\text{пв}} \left(1 + \frac{E_k - e_n}{e_b - E_k} \right) = 3,59 \left(1 + \frac{496 - 52}{1403 - 496} \right) = 5,35 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Подставляя значения $R_{\text{оп}}^{\text{тр}}$ и $R_o^{\text{тр}}$ в систему уравнений (7), получим

$$\begin{cases} 3,2 = 0,115 + 0,049 + \frac{\delta_{\text{yt}}}{0,042} + \frac{\delta_{\text{пи}}}{2,04} + 0,043; \\ 5,35 = 3,33 + \frac{\delta_{\text{yt}}}{0,32} + \frac{\delta_{\text{пи}}}{0,03}. \end{cases}$$

Решая систему двух уравнений с двумя неизвестными, получим:

$\delta_{\text{yt}} = 0,12 \text{ м}$ (не менее) и $\delta_{\text{пи}} = 0,05 \text{ м}$ (не более). Общая толщина конструкции составит

$$\delta_k = 0,10 + 0,12 + 0,05 = 0,270 \text{ м}.$$

Проверим выполнение условия ($P_b = P_n$) ненакопления влаги в многослойной конструкции:

$$P_b = \frac{1403 - 496}{3,59} = 252; P_n = \frac{496 - 52}{5,35 - 3,59} = 252.$$

Таким образом, запроектированная многослойная конструкция наружного ограждения здания отвечает как требованиям теплозащиты, так и условию (1) ненакопления влаги в холодный период года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перехоженцев А. Г.* Анализ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2013. № 34(53). С. 48—56.
2. *Перехоженцев А. Г.* Нормирование параметров микроклимата в жилых и общественных зданиях // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. № 30(49). 2013. С. 139—143.
3. *Гагарин В. Г., Козлов В. В.* Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 8—12.
4. *Вытчиков Ю.* Определение плоскости возможной конденсации для многослойных строительных ограждающих конструкций // Строй-инфо. 1999. № 24.
5. *Фокин К. Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
6. *Куприянов В. Н., Сафин И. Ш.* Количественные параметры конденсации парообразной влаги в наружных стенах // Изв. КГАСУ. 2013. № 4(26). С. 121—128.
7. *Шнайдель К.* Диффузия и конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях / Пер. В. Г. Бердичевского. М. : Стройиздат, 1985.
8. *Ушков Ф. В.* Метод расчета увлажнения ограждающих частей зданий. М. : Изд-во Минкоммунхоза РСФСР, 1955. С. 38—50.
9. *Перехоженцев А. Г.* Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. С. 104—112.
10. *Перехоженцев А. Г.* Комплексный расчет тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций зданий // Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции : материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. М. : МГСУ, 2007.

© *Перехоженцев А. Г.*, 2022

*Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Перехоженцев А. Г. О защите от переувлажнения ограждающих конструкций зданий (рекомендации по совершенствованию норм по теплозащите зданий) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 30—38.

Об авторе:

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

Anatoly G. Perehozhencev

Volgograd State Technical University

ON PROTECTION AGAINST WATERLOGGING OF ENCLOSING STRUCTURES (RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE STANDARDS FOR THE THERMAL PROTECTION OF BUILDINGS)

The article shows the inconsistency of the methodology for calculating the humidity state of the external enclosing structures of buildings, given in the current regulatory documents on the thermal protection of buildings, which does not provide protection against waterlogging of these structures in the cold period of the year. A simple and reliable method for determining the plane of possible condensation and determining the required resistance to vapor penetration of multilayer structures, which ensures no accumulation of condensation moisture in the structure in the cold period of the year, is given. The method of complex calculation of the characteristics of multilayer structures that meet the specified requirements is given.

К е y w o r d s: multilayer enclosing structures, temperature in the plane of possible condensation, rationing of vapor penetration resistance, complex calculation of structures that meet the requirements of heat protection and moisture accumulation.

For citation:

Perehozhencev A. G. [On protection against waterlogging of enclosing structures (recommendations for improving the standards for the thermal protection 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], 2022, iss. 2, pp. 30—38.

About author:

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

УДК 699.841

С. В. Харланова, В. Л. Харланов

Волгоградский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ АКСЕЛЕРОГРАММ ОТ ШУМА С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Реальные акселерограммы применяют в качестве исходных данных при анализе строительных конструкций. В открытом доступе зачастую имеются только зашумленные инструментальные записи акселерограмм. Такие акселерограммы нельзя применять непосредственно при детерминированном анализе строительных конструкций. Для корректировки инструментальных записей акселерографов применяются различные широкополосные фильтры. В данной статье рассматривается возможность применения фильтров, основанных на вейвлет-преобразовании.

Рассмотрена методика алгоритма фильтрации от шума исходных данных. На примере сгенерированных данных показана эффективность данного алгоритма. В качестве эффективности данного алгоритма фильтрации реальной акселерограммы проведен сравнительный анализ энергетических критериев импульса и Ариаса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: акселерограммы землетрясения, вейвлет-преобразование, фильтрация, энергетический критерий.

Как правило, зарегистрированные физические сигналы содержат различные шумы, являющиеся погрешностью измерения аппаратуры. К таким сигналам можно отнести инструментальные акселерограммы (неоткорректированные акселерограммы), зарегистрированные сейсмическими станциями. Подобные записи землетрясений нельзя применять при анализе строительных конструкций. В основном неоткорректированные акселерограммы пропускают через широкополосные фильтры (эллиптические фильтры).

Относительно новым подходом к фильтрации шума в реальных случайных процессах является вейвлет-преобразование.

Вейвлет-преобразование представляет собой разделение исходного сигнала на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты. Аппроксимирующие коэффициенты представляют сглаженный сигнал, а детализирующие — колебания [1, 2]. Информация о шумовой составляющей исходного сигнала обычно содержится в детализирующих коэффициентах, поэтому именно они обрабатываются при очистке от шумов.

Представим исходный сигнал в виде

$$y_i = f(t_i) + \mu_i, 0 \leq i \leq N_t - 1, \quad (1)$$

где y_i — наблюдаемое значение одномерного дискретного сигнала; $f(t)$ — некоторая функция (сигнал), измеряемая в точках t_i со случайным шумом μ_i .

Для очищения сигнала от шума исходный сигнал пропускают через два фильтра — высокочастотный (h) и низкочастотный (g). В итоге получают две последовательности коэффициентов: $A_1 = \{a_{j,i}\}$ — коэффициенты аппроксимации уровня разложения 1, $D_1 = \{d_{j,i}\}$ — коэффициенты детализации уровня разложения 1. Далее коэффициенты A_1 подвергают опять разложению на $A_2 = \{a_{j+1,i}\}$ — коэффициенты аппроксимации уровня разложения 2 и $D_2 = \{d_{j+1,i}\}$ — коэффициенты детализации уровня разложения 2. Повторяя процедуру J раз, исходный сигнал можно представить схематично (рис. 1).

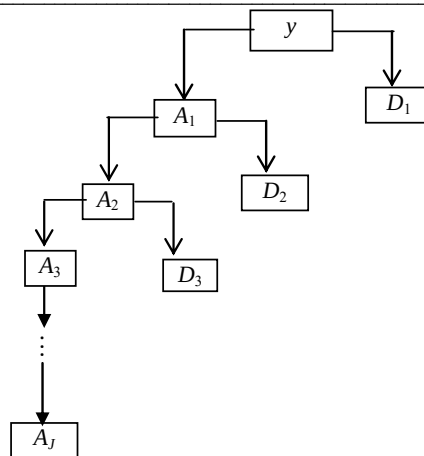


Рис. 1. Дискретное прямое вейвлет-преобразование

Коэффициенты $a_{j,i}$, $d_{j,i}$ находят по формулам [3, 4]:

$$\begin{aligned} a_{j+1,i} &= \sum_n h_n a_{j,n+2i}, \\ d_{j+1,i} &= \sum_n g_n a_{j,n+2i}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_{j,i} = y_i$, $g_n = (-1)^i h_{2M-1-i}$, $i = \overline{0, N-1}$, $2M$ — определяет число коэффициентов h_i . В качестве фильтра h применим коэффициенты вейвлета — Добеши D^8 , обладающего свойством ортогональности [5—7]:

$$\begin{aligned} h_0 &\approx 0,2304, h_1 \approx 0,7148, h_2 \approx 0,6309, h_3 \approx -0,028, h_4 \approx -0,187, \\ h_5 &\approx 0,0308, h_6 \approx 0,0329, h_7 \approx -0,0106. \end{aligned}$$

Формулы (2) представляют собой прямое дискретное вейвлет-преобразование исходного сигнала.

При восстановлении исходного сигнала применяют обратное дискретное вейвлет-преобразование по формуле

$$a_{j+1,n} = \sum_i h_{n-2i} \cdot a_{j+1,i} + \sum_i g_{n-2i} \cdot d_{j+1,i}. \quad (3)$$

При реализации алгоритмов прямого и обратного вейвлет-преобразования число N коэффициентов $a_{j,i}$ должно быть кратным двум. Если это условие не выполняется, то исходная последовательность сигналов либо урезается, либо дополняется нулями до требуемой длины.

При прямом вейвлет-преобразовании количество коэффициентов $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$ при переходе от уровня j к уровню $j+1$ уменьшается в два раза, а при обратном вейвлет-преобразовании количество коэффициентов $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$ при переходе от уровня j к уровню $j-1$ увеличивается в два раза.

В матричном виде один шаг прямого вейвлет-преобразования выглядит следующим образом:

$$P_j \cdot A_j = V_j, \quad (4)$$

$$\text{где } P_j = \begin{pmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 \\ h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 \\ h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 \\ g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 \\ g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 \\ g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 \\ g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 \end{pmatrix},$$

$$A_j = \begin{pmatrix} a_{j,0} \\ a_{j,1} \\ \dots \\ a_{j,N_j/2-3} \\ a_{j,N_j/2-2} \\ a_{j,N_j/2-1} \\ a_{j,N_j/2} \\ a_{j,N_j/2+1} \\ a_{j,N_j/2+2} \\ \dots \\ a_{j,N_j-4} \\ a_{j,N_j-3} \\ a_{j,N_j-2} \\ a_{j,N_j-1} \end{pmatrix}, \quad V_j = \begin{pmatrix} a_{j+1,0} \\ a_{j+1,1} \\ \dots \\ a_{j+1,N_j/2-4} \\ a_{j+1,N_j/2-3} \\ a_{j+1,N_j/2-2} \\ a_{j+1,N_j/2-1} \\ d_{j+1,0} \\ d_{j+1,1} \\ \dots \\ d_{j+1,N_j/2-4} \\ d_{j+1,N_j/2-3} \\ d_{j+1,N_j/2-2} \\ d_{j+1,N_j/2-1} \end{pmatrix},$$

где N_j — длина сигнала на j -м уровне разложения.

При обратном вейвлет-преобразовании $A_j = P_j^{-1} \cdot V_j = P_j^T \cdot V_j$.

Алгоритм фильтрации зашумленных данных выглядит следующим образом [8]:

- 1) находят коэффициенты $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$, вычисленные по (2);
- 2) к найденным коэффициентам детализации $d_{j,i}$ применяют алгоритм с так называемой жесткой пороговой функцией вида

$$H(\delta) = \begin{cases} d_{j,i}, & \text{если } |d_{j,i}| \geq \delta \\ 0, & \text{если } |d_{j,i}| < \delta \end{cases}; \quad (5)$$

3) восстанавливают сигнал путем взятия обратного вейвлет-преобразования от коэффициентов $a_{j,i}$ и $d_{j,i}$, найденных в пунктах 1 и 2.

В качестве параметра δ взят универсальный порог вида [9, 10]

$$\delta_j = \sigma \sqrt{2 \cdot \ln N_j}, \quad \sigma = \frac{\text{median}(|d_{1,k}|)}{0,6745}, \quad (6)$$

где N_j — количество детализирующих коэффициентов на j -м уровне разложения. Следовательно, чем выше уровень разложения j , тем меньше порог δ_j .

Максимальный уровень разложения J находится по формуле

$$J = \frac{\ln N}{\ln 2}, \quad (7)$$

где N — длина исходного сигнала.

Для проверки вышеизложенного алгоритма в соответствии с (1) сгенерируем сигнал вида

$$y_i = f_i + \mu_i, \quad 0 \leq i \leq 255, \quad (8)$$

где $f_i = 5 \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot i}{256}\right)$, а μ_i — нормально распределенный случайный процесс с нулевым средним значением и единичной дисперсией.

На рис. 2 представлен зашумленный сигнал и очищенный от шума с помощью дискретного прямого и обратного вейвлет-преобразования с глубиной разложения 3 и 4.

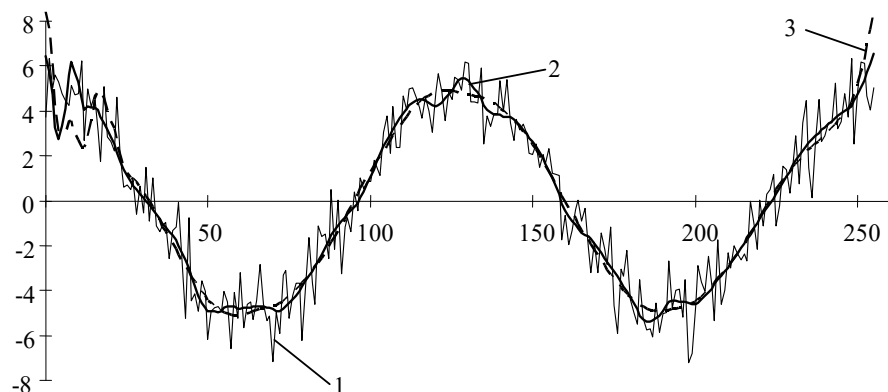


Рис. 2. Дискретное вейвлет-преобразование: 1 — синтезированный сигнал в соответствии с (8); 2 — очищенный сигнал с глубиной разложения 3; 3 — очищенный сигнал с глубиной разложения 4

Видно, что лучшая фильтрация сигнала происходит при глубине разложения 4.

Применим данный алгоритм фильтрации к реальному сигналу. Рассмотрим инструментальную запись землетрясения в направлении З — В, зарегистрированную станцией Бухарест в 1996 г. Возьмем неоткорректированную запись землетрясения и сравним с откорректированной записью, полученной с помощью традиционного метода фильтрации (эллиптического фильтра) и с помощью вейвлет-преобразования. На рис. 3 приведены соответствующие записи землетрясений.

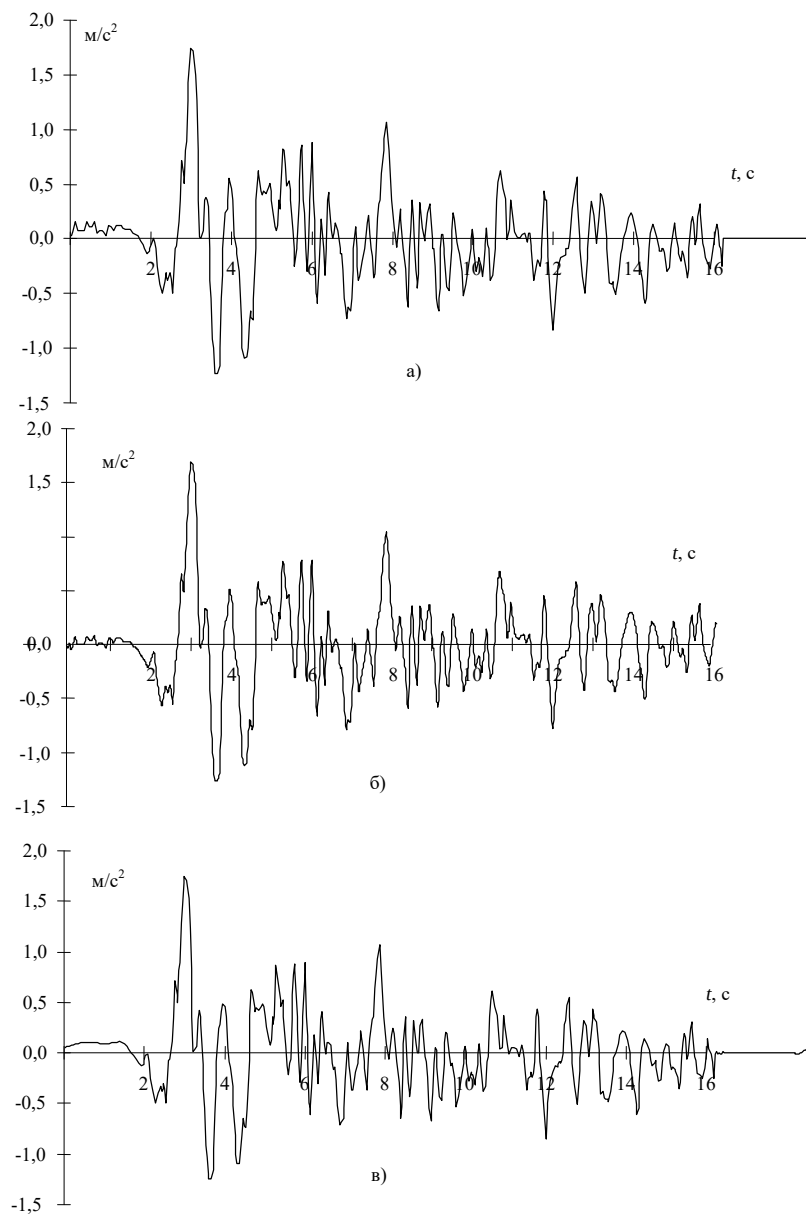


Рис. 3. Записи землетрясения: *а* — неоткорректированная акселерограмма землетрясения; *б* — откорректированная акселерограмма (эллиптический фильтр); *в* — откорректированная акселерограмма (вейвлет-преобразование)

В работе [11] было показано, что спектры реакций откорректированной акселерограммы с помощью эллиптического фильтра и с помощью вейвлет-преобразования практически идентичны.

Для проверки сохранения энергии инструментальной и отфильтрованной акселерограмм применяют энергетические критерии [12, 13]: критерий Ариаса [14] и критерий импульса (CAV)*.

Критерий Ариаса вычисляется по формуле

$$I_A = \int_0^t \ddot{y}_o(t)^2 dt. \quad (9)$$

Энергетический критерий CAV — по формуле

$$CAV = \int_0^t |\ddot{y}_o(t)| dt, \quad (10)$$

где $\ddot{y}_o(t)$ — акселерограмма свободной поверхности.

В табл. 1 приведен расчет энергетического критерия CAV и критерия Ариаса для откорректированной и инструментальной акселерограмм.

Таблица 1

*Энергетические критерии для откорректированной
и инструментальной акселерограмм*

Критерий	Инструментальная акселерограмма	Акселерограмма, пропущенная через эллиптический фильтр	Акселерограмма, полученная с помощью вейвлет-преобразования
Ариаса	2,622	2,588	2,621
CAV	4,619	4,482	4,619

Из анализа табл. 1 следует, что фильтрация акселерограммы от шума с помощью вейвлет-преобразования не уменьшает энергетические критерии.

В [2] было установлено, что достаточно брать $J = 5$, так как увеличение глубины разложения не сильно влияет на фильтрацию исходного сигнала от шума. Проверим, каким образом глубина разложения влияет на энергетические критерии. Поскольку длина данной акселерограммы составляет $N = 512$, максимальная глубина разложения в соответствии с (7) будет $J = 9$.

Возьмем глубину разложения 5, 6, 7 и 9 и для каждой проверим энергетические критерии. В табл. 2 приведены значения энергетических критериев в зависимости от глубины разложения.

Таблица 2

Энергетические критерии в зависимости от глубины разложения

Критерий	Глубина разложения			
	$J = 5$	$J = 6$	$J = 7$	$J = 9$
Ариаса	2,586	2,225	2,239	2,185
CAV	4,891	4,464	4,483	4,493

* EPRI TR-100082. Standardization of the Cumulative Absolute Velocity, Palo Alto, California : Electric Power Research Institute, prepared by Yankee Atomic Electric Company, Dec. 1991.

Для оценки оптимальной глубины разложения найдем относительную погрешность [15] энергетического критерия в зависимости от глубины разложения по формуле

$$\Delta 1_J = \frac{|I_A - I_A(J)|}{I_A} 100 \%,$$

$$\Delta 2_J = \frac{|CAV - CAV(J)|}{CAV} 100 \%,$$
(11)

где I_A , CAV — значения критериев Ариаса и импульса по акселерограмме, отфильтрованной с помощью эллиптического фильтра, $I_A(J)$, $CAV(J)$ — с помощью вейвлет-преобразования.

В табл. 3 приведены относительные погрешности энергетических критериев, полученных по (11).

Т а б л и ц а 3

*Относительная погрешность энергетических критериев
 в зависимости от глубины разложения*

Критерий	Глубина разложения			
	$J = 5$	$J = 6$	$J = 7$	$J = 9$
Ариаса	0,08 %	14 %	13,5 %	15,6 %
CAV	9,1 %	0,4 %	0,02 %	2,5 %

Следовательно, оптимальная погрешность по обоим критериям будет при глубине разложения 5. В итоге оптимальную глубину разложения можно вычислить по формуле

$$J = \frac{\ln N}{\ln 2} - 4,$$
(12)

где N — длина исходного сигнала.

Выводы

1. Рассмотрен алгоритм фильтрации записей землетрясений от шума с помощью вейвлет-преобразования с глубиной разложения $J = 5$.
2. Рассмотренный алгоритм фильтрации не уменьшает энергетические критерии отфильтрованной акселерограммы.
3. Выведена формула оптимальной глубины разложения.
4. Недостатком данного алгоритма является необходимая длина исходных данных, кратная двум. При невыполнении этого условия требуемая длина данных заполняется нулями или отсекается до необходимой длины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145—1170.
2. Московский С. Б., Сергеев А. Н., Лалина Н. А. Очистка сигнала от шумов с использованием вейвлет преобразования // Universum. Технические науки: электрон. науч. журн. 2015. № 2(15).
3. Mallat S. Multiresolution approximation and wavelet orthonormal bases of $L_2(\mathbb{R})$ // Trans. AMS. 1989. Vol. 315. No. 1. Pp. 69—87.

4. Mallat S. A theory of multiresolution signal decomposition: the wavelet representation // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1989. Vol. 11. No. 9. Pp. 674—693.
5. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 464 с.
6. Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets // Comm. Pure Appl. Math. 1988. Vol. 41. Pp. 906—966.
7. Daubechies I. The wavelet transform, time frequency localization and signal analysis // IEEE Trans. Inform. Theory. 1990. No. 5. Pp. 961—1005.
8. Воскобойников Ю. Е. Вейвлет-фильтрации сигналов и изображений (с примерами в пакете Mathcad) : моногр. Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2015. 188 с.
9. Donoho D. L., Johnstone I. M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage // Biometrika. 1994. Vol. 81. No. 3. Pp. 425—455.
10. Donoho D. L. De-noised by soft-thresholding // IEEE Trans. Information Theory. 1995. Vol. 41. No. 3. Pp. 613—627.
11. Харланова С. В., Харланов В. Л. Применение вейвлет-преобразования в фильтрации шума реальных акселерограмм землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 19—27. DOI: 10.3715312618-9283-2021-3-19-27.
12. Харланова С. В., Пишеникина В. А., Харланов В. Л. Анализ интенсивности Калифорнийского землетрясения 24.08.2014 // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. № 44-1(63). С. 159—168.
13. Харланова С. В. Имитационное моделирование акселерограмм землетрясений // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2013. № 33(52). С. 121—125.
14. Arias A. A measure of earthquake intensity // Seismic design for nuclear power points / Ed. R. J. Hansen. Cambridge, Massachusetts : MIT Press., 1970. Pp. 438—483.
15. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. М. : Наука, 1970. 664 с.

© Харланова С. В., Харланов В. Л., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Харланова С. В., Харланов В. Л. Применение алгоритма фильтрации акселерограмм от шума с помощью вейвлет-преобразования при исследовании сейсмических нагрузок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 39—47.

Об авторах:

Харланова Светлана Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; svetlh@mail.ru

Харланов Владимир Леонтьевич — д-р техн. наук, проф. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; harlanov@bk.ru

Svetlana V. Kharlanova, Vladimir L. Kharlanov

Volgograd State Technical University

APPLICATION OF THE ALGORITHM FOR FILTERING ACCELEROGRAMS FROM NOISE USING THE WAVELET TRANSFORM IN THE STUDY OF SEISMIC LOADS

Real accelerograms are used as input data in the analysis of building structures. In the public domain, there are often only noisy instrumental recordings of accelerograms. Such accelerograms cannot be used directly in the deterministic analysis of building structures. Various broadband filters

are used to adjust the instrumental recordings of accelerographs. This article discusses the possibility of using filters based on the wavelet transform.

The technique of the algorithm of filtering from the noise of the source data is considered. The efficiency of this algorithm is shown by the example of the generated data. A comparative analysis of the energy criteria of the pulse and Arias was carried out as an efficiency of this algorithm for filtering a real accelerogram.

Key words: earthquake accelerograms, wavelet transform, filtration, energy criterion.

For citation:

Kharlanova S. V., Kharlanov V. L. [Application of the algorithm for filtering accelerograms from noise using the wavelet transform in the study of seismic loads]. *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], 2022, iss. 2, pp. 39—47.

About authors:

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

Vladimir L. Kharlanov — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; harlanov@bk.ru

УДК 625.712

А. В. Макаров, С. А. Калиновский, В. С. Федорова, А. О. Евдокименко

Волгоградский государственный технический университет

ЭФФЕКТИВНЫЙ ВАРИАНТ ЗАВЕРШЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПРОДОЛЬНОЙ МАГИСТРАЛИ В ВОЛГОГРАДЕ

Предложен вариант улучшения транспортной ситуации в Волгограде посредством продления Нулевой продольной до границы Ворошиловского и Советского районов. Разработана эффективная схема движения без переплетения транспортных потоков и светофорного регулирования. С целью анализа возможности строительства проезда от Нулевой продольной магистрали к первой проведено обследование имеющихся путепроводов и даны рекомендации по восстановлению долговечности и грузоподъемности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильная дорога, модернизация улично-дорожной сети, транспортный поток, дефекты, схема движения, долговечность, пробки на дорогах, обследование путепроводов, грузоподъемность, усиление конструкций.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» в рамках национальной цели «Комфортная и безопасная среда для жизни» необходимо: достижение улучшения качества городской среды в полтора раза; обеспечение доли дорожной сети в крупнейших городских агломерациях, соответствующей нормативным требованиям, на уровне не менее 85 %.

В Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. отдельное внимание уделяется развитию транспортных систем городских агломераций. Это связано с тем, что в настоящее время транспортные сети крупных городов испытывают большие нагрузки, связанные с ростом уровня автомобилизации населения [1]. Уровень автомобилизации на улицах и дорогах крупных городов в последние десятилетия вырос более чем в пять раз, значительно изменилась плотность жилой и торгово-офисной застройки, а также функциональное использование зданий и сооружений на прилегающих к дорогам территориях [2, 3]. Такие изменения свидетельствуют о давно назревшей необходимости модернизации автомобильных дорог.

Следует отметить, что к числу главных барьеров, тормозящих развитие Волгоградской области, относится неудовлетворенность граждан уровнем комфорта городской среды. Эта неудовлетворенность является одной из причин массового оттока населения нашей области в другие регионы.

Главным инструментом для оценки качества материальной городской среды и условий ее формирования является индекс качества городской среды, формируемый Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. В рейтинге «Индекс качества городской среды» 2020 г. Волгоград занял предпоследнее место среди крупнейших городов России (набранные им баллы были низки даже для большинства городов других категорий). Одной из групп критериев оценки является улично-дорожная сеть, если она неэффективна, она может нанести ущерб экономике, окружающей среде и обществу [4].

Комфортная городская среда определяется многими факторами. Это и наличие парковых и рекреационных зон, удобное расположение торговых

объектов и социально-культурных учреждений и многое другое [5, 6]. Однако важнейшим фактором комфортности крупного мегаполиса является транспортная доступность, которая обеспечивается сложившейся улично-дорожной сетью города. Причем необходим обоюдный учет интересов как пешеходов, так и жителей, перемещающихся на транспорте [7].

Город Волгоград занимает третье место в России по площади и протянулся более чем на 64,5 км вдоль Волги [8, 9]. Семь из восьми районов города располагаются последовательно друг за другом, создавая линейную планировку города [10]. Исторически Царицын возник во второй половине XVI в. и строился по берегам небольшой реки Царицы вдоль Волги [11]. С начала прошлого века город прирастал в обе стороны заводами, которые строились вдоль Волги. Сталинград (с 1925 по 1961 г.) уже тогда приобрел линейную структуру, а со строительством Волго-Донского судоходного канала принял современный размер, когда в городскую черту вошел Красноармейский район [12, 13]. Это накладывает особенности на транспортную структуру города и его улично-дорожную сеть. В настоящее время недостаточное развитие транспортной инфраструктуры является сдерживающим фактором в социально-экономическом развитии как города, так и региона в целом [14]. По сути, всего две продольные магистрали пересекают большинство районов города. Первая продольная магистраль проходит через Тракторозаводский, Краснооктябрьский, Центральный, Ворошиловский и Советский районы. Вторая продольная магистраль проходит через Тракторозаводский, Краснооктябрьский, между Центральным и Дзержинским районами и далее на юго-восток через Ворошиловский, Советский, Кировский и Красноармейский районы, являясь длиннейшей внутригородской магистралью России (хотя и подразделена формально на 16 улиц). Эти магистрали были запроектированы и построены в послевоенные годы. Причем в северной части Тракторозаводского и южной части Советского районов города они соединяются в одну. За прошедшие 40 лет, при неизменной ширине и постоянном росте автомобильного парка Первая и Вторая продольные магистрали перестали удовлетворять потребностям города по пропускной способности. Это влечет за собой заторы на дорогах, сверхинтенсивную эксплуатацию, приводящую к быстрому разрушению дорог. Частые остановки у светофоров и последующий разгон автомобилей приводят к повышенному выхлопу моторов и ухудшению экологии города.

Улучшение сложившейся транспортной ситуации в городе — весьма сложная и дорогостоящая задача. Частично транспортная проблема в прошлые годы решалась строительством Третьей продольной магистрали. На сегодня построена лишь часть этой дороги: она пересекает Тракторозаводский, Краснооктябрьский, Дзержинский и частично Ворошиловский районы. Третья продольная магистраль предварительно проектировалась для Волгограда объездной (35 км) и изначально предназначалась для транзитного транспорта, что не решает проблему городского потока.

Важно отметить, что в таких городах, как Волгоград, имеющих протяженную структуру застройки, городской транспорт нельзя рассматривать как единый и однородный транспортный поток. Предлагается разделить его на две группы. К первой группе следует отнести внутрирайонный и смежный транспортный поток. Это автомобили, проезжающие по территории одного района или в смежные районы города. Вторая группа автомобилей перемещается к месту назначения через два-три, а иногда четыре-пять районов. Это

межрайонный транзит, который занимает улично-дорожную сеть районов. Именно такой транспортный поток в первую очередь необходимо грамотно вывести на межрайонную магистраль, тогда проблема пробок будет решена. Но нужна такая магистраль, вдоль которой расположено наименьшее количество городских зданий.

Несколько лет назад была предпринята попытка разгрузить часть Первой продольной магистрали за счет вывода части межрайонно-транзитного автотранспорта на нижнюю террасу набережной. Впоследствии сформировалась идея о строительстве Нулевой продольной магистрали, реализованная в рамках подготовки Волгограда к проведению Чемпионата мира по футболу 2018 г. [2, 3, 15]. В настоящее время ее границы — от улицы имени Маршала Крылова (граница Краснооктябрьского района) до улицы Калинина (крайняя улица на севере Ворошиловского района). Эта магистраль построена и позволяет, объезжая жилую застройку Центрального района, попасть в начало следующего района города. Несомненно, пробки на первой продольной магистрали в границах Центрального района уменьшились, однако кардинально решить проблему заторов на дорогах не удалось. Весь транспорт, проходящий по улице Калинина в Ворошиловском районе, образует многочисленное скопление машин по улицам Рабоче-Крестьянской, Циолковского и Пугачевской в часы пик.

Для улучшения транспортной системы предлагается продлить Нулевую продольную магистраль, как показано на рис. 1, до улицы Базисной, с тем чтобы транспорт мог выйти к автодорожному тоннелю под железнодорожным переездом, минуя улицы: Рабоче-Крестьянскую, Козловскую, Академическую, Профсоюзную. Нулевая продольная пройдет под существующими путепроводами с выездом на Первую продольную магистраль. В качестве важнейшего аспекта безостановочного движения предлагается схема организации участка примыкания транспортных потоков с переходно-скоростной полосой (ПНСТ 270-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Транспортные развязки. Правила проектирования), в отличие от перпендикулярных во всех других случаях.

При такой организации движения автомобильный поток Нулевой продольной без остановки вливается в основной транспортный поток справа (рис. 2). Аналогично при съезде с продольной магистрали транспортные потоки разделяются, уходя вправо. Принятая в других съездах схема — прямое примыкание — работает при светофорном регулировании движения, что приводит к остановкам движения и возникновению пробок (рис. 3).

Для прокладки съездов и проведения завершающего участка Нулевой продольной магистрали должно быть проведено обследование путепроводов, под которыми будет проходить автомобильная дорога, ведущая к Нулевой продольной, что и было сделано. Осмотр проводился с целью выявления дефектов и разрушений, накопленных мостовыми сооружениями за годы эксплуатации, и недопущения аварийных ситуаций, связанных с их появлением и развитием [16]. Для ускорения сроков проведения мероприятий по обследованию использовался ускоренный метод, предложенный и описанный в работах [17]. Фасад путепровода и состояние главных несущих конструкций пролетного строения зафиксированы с помощью беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 RTK. Достоинства такого обследования описаны, оно применялось на практике при обследовании железнодорожного путепровода в Волгограде [18].

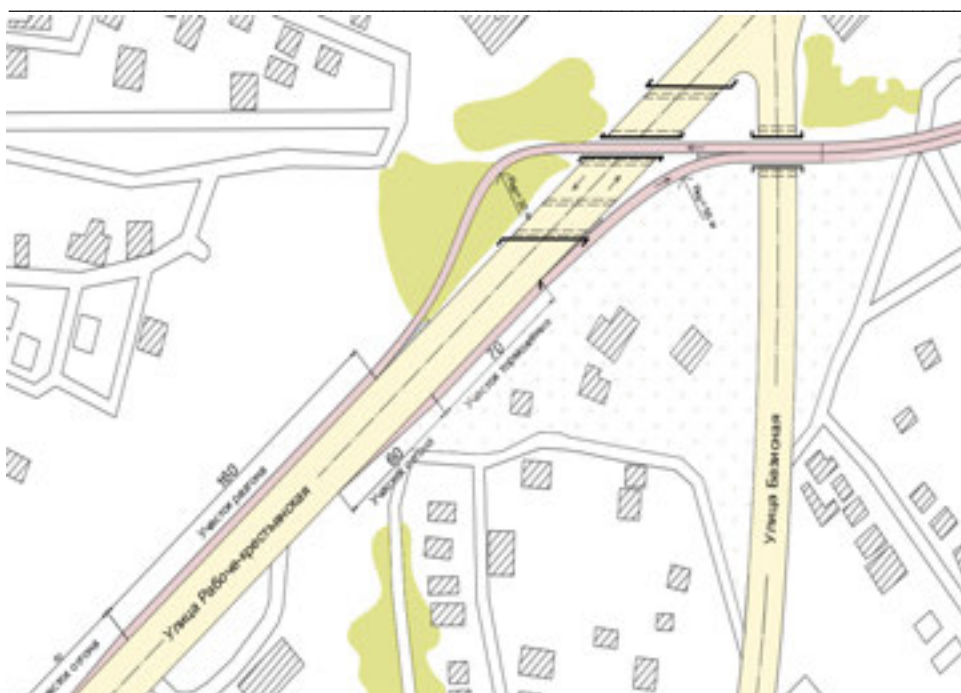


Рис. 1. План проезда к Нулевой продольной магистрали. Пролетные строения путепроводов над проездами условно не показаны

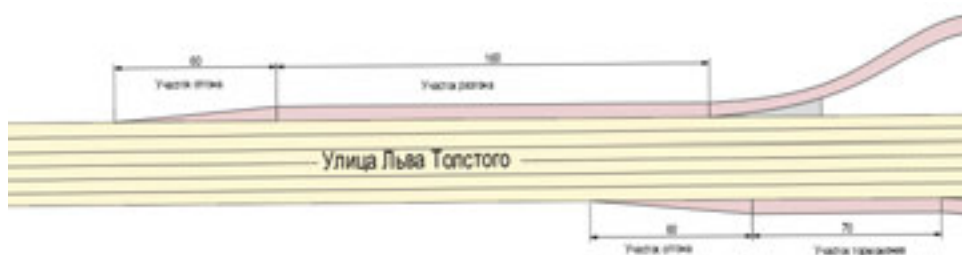


Рис. 2. Участок примыкания транспортных потоков

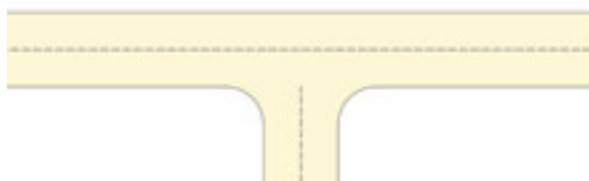


Рис. 3. Прямоугольное примыкание

Железобетонный путепровод по улице Рабоче-Крестьянской по статической схеме представляет собой разрезную балочную систему, состоящую из сборных балок таврового сечения с ездой поверху (рис. 4). Путепровод четырехпролетный; схема $11,36 \times 3 \times 6,4$. Этот путепровод по характеру пересечения препятствия является косым и пересекает неэлектрофицированный железнодорожный путь под углом 65° , поэтому балки не перпендикулярны ригелю. Косина

путепровода сокращает пролет сооружения в свету. Так, при длине балок пролетного строения 11,36 м пролет составляет 8 м. Высота сооружения над уровнем железной дороги (под мостовой габарит) составляет 7,35 м.



Рис. 4. Железнодорожный путепровод под улицей Рабоче-Крестьянской

Осмотр позволил выявить незначительные дефекты и повреждения. Балки пролетных строений имеют трещины и отслоение защитного слоя бетона на небольшой поверхности, одиночные сколы бетона без обнажения арматуры (рис. 5). Опоры и ригели существенных дефектов не имеют. Нуждается в местном ремонте укрепление конуса насыпи. Главную озабоченность вызывают крайние главные балки путепровода. Ширина пролетов в данном случае большая, и крайние балки, в соответствии с линией влияния давления на эти балки, являются наиболее нагруженными [19]. Эти балки следует усилить, но так, чтобы высота подмостового габарита не изменилась, позволяя транспорту беспрепятственно проезжать под путепроводами. Такой способ усиления с помощью углеводородных ламелей предложен и описан в работах [20—22]. Благодаря высоким прочностным характеристикам углеволокна повысить несущую способность конструкции можно практически без потери полезного объема и увеличения собственного веса конструкций: толщина усиливающих элементов обычно составляет 1...5 мм. Усиление балок выполняется путем наклейки углеволокна в наиболее напряженных зонах: для восприятия повышенного изгибающего момента — обычно в центре пролета по нижней грани конструкции.



Рис. 5. Несущие конструкции пролетного строения путепровода

Малый путепровод, расположенный по улице Базисной, также должен быть задействован для пропуска подхода к Нулевой продольной (см. схему на рис. 1). Путепровод однопролетный железобетонный, с мощными устоями, с лобовыми и обратными стенами, по пересечению препятствия прямой (рис. 6). Ширина подмостового пространства 9,8 м, что позволяет разместить двухполосную автомобильную дорогу шириной 8 м. Высота сооружения над уровнем железной дороги (под мостовой габарит) составляет 7,15 м.



Рис. 6. Однопролетный путепровод по улице Базисной

Пролетное строение состоит из П-образных сборных балок, которые в настоящее время не выпускаются заводами железобетонных конструкций. Обследование этого сооружения выявило следующие дефекты. Продольные трещины в ребрах балок составляют более 5 мм. Из-за возникших протечек на поверхности железобетонных балок наблюдаются выщелачивание бетона и в одном месте растет сталактит. Потeki и белесые пятна плиты проезжей части говорят о разрушении гидроизоляционного слоя мостового полотна. Ребра крайних балок имеют оголенную корродирующую рабочую арматуру (рис. 7). Малый путепровод не имеет серьезных дефектов, которые существенно снижают грузоподъемность, долговечность сооружения. Однако объекту необходим планово-предупредительный ремонт, включающий замену гидроизоляционного слоя мостового полотна и восстановление защитного слоя бетона ребер балок.



Рис. 7. Коррозия рабочей арматуры ребра балки

Отдельно надо отметить, что на обоих путепроводах имеются локальные разрушения асфальтобетонного слоя и недостаточная высота парапета, не соответствующая современным нормам, что снижает безопасность движения.

Ширина пролетов путепроводов позволяет разместить двухполосную автомобильную дорогу IV технической категории. На месте старого, давно не используемого железнодорожного полотна и предлагается запроектировать новую автомобильную дорогу без левых поворотов и смещения транспортных потоков. Эту дорогу необходимо соединить с Нулевой продольной магистралью.

Исходя из изложенного выше, можно отметить, что продолжение Нулевой продольной до Советского района благоприятно повлияет на транспортную ситуацию в Ворошиловском и Центральном районах Волгограда, снизив количество пробок в городе, но для реализации данной транспортной схемы необходимо как непосредственно осуществить строительство соответствующего участка дороги, так и выполнить ремонт существующего путепровода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Rodrigue J.-P.* The Geography of Transport Systems. New York : Routledge, 2020. 456 p. URL: doi.org/10.4324/9780429346323.
2. *Девятков М. М., Вилкова Е. С.* Модернизация улиц и дорог местного значения городов в соответствии с их современным функциональным назначением // Развитие и модернизация улично-дорожной сети (УДС) крупных городов с учетом особенностей организации и проведения массовых мероприятий международного значения (в рамках подготовки к Чемпионату мира по футболу 2018 г.) : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 17—19 сент. 2014 г., Волгоград : ВолГАСУ, 2014. С. 33—38.
3. *Девятков М. М., Вилкова И. М., Колобова Е. С.* Обоснование и анализ модели стратегического развития транспортной системы Волгограда («Большого Волгограда») // Развитие и модернизация улично-дорожной сети (УДС) крупных городов с учетом особенностей организации и проведения массовых мероприятий международного значения (в рамках подготовки к Чемпионату мира по футболу 2018 г.) : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 17—19 сент. 2014 г., Волгоград : ВолГАСУ, 2014. С. 38—44.
4. *Makarova I., Shubenkova K., Gabsalikhova L.* Analysis of the city transport system's development strategy design principles with account of risks and specific features of spatial development // Transport problems. 2017. Vol. 12. Iss. 1. Pp. 125—138. DOI: 10.20858/tp.2017.12.1.12.
5. *Popova O., Ostanina A., Belyaeva S., Andryunina Y.* Accessibility of the urban environment for people with limited mobility using the example of Arkhangelsk // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. 7 p. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016404015>.
6. *Antipanova O. A., Barysheva G. A.* Quality of life of an elderly person in the conditions of urban space // SHS Web of Conferences. 2020. Vol. 80. 7 p. URL: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208001004>.
7. *Деточенко Л. В.* «Линейный» город: историко-географические особенности территориальной организации, хозяйственной и транспортной составляющих (на примере Волгограда) // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. : Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28. Вып. 2. С. 200—210.
8. *Макаров А. В., Павлова М. А., Дегтярева Л. Е.* Организация общественного пространства в подземных переходах города Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 186—193.
9. *Деточенко Л. В., Фесенко В. В.* Волгоградская агломерация: специфика формирования, современное состояние и пространственные перспективы // Полимасштабные системы «центр — периферия» в контексте глобализации и регионализации: теория и практика общественно-географических исследований : матер. Междунар. науч. конф. Симферополь : Ариал, 2015. С. 118—126.
10. *Долинская И. М., Полинская И. Р., Шадрина Е. М., Яковенко Е. М.* От идей Сория-и-Мата до «Сибстрима» и «Стратегии-2030»: обзор отечественных и зарубежных проектов линейных городов и систем расселения // Universum: технические науки : электрон. науч. журн. 2021. № 5(86). DOI: 10.32743/UniTech.2021.86.5.11706. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11706>.
11. *Олейников П. П.* Архитектурное наследие Сталинграда. Волгоград, 2012. 560 с.

12. Скрипкин А. С., Луночкин А. В., Курилла И. И. История Волгоградской земли от древнейших времен до современности. М. : Планета, 2011. 224 с.
13. Водолагин М. А. *Очерки истории Волгограда*. М. : Наука, 1968. 458 с.
14. Antyufeev A. V., Kireev A. I. Characteristics of the existing system of transportation and ways of development of passenger transport in large cities, on the example of Volgograd // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. No. 17. Pp 18—23.
15. Алексиков С. В., Алексиков И. С., Карпушко М. О. О подготовке транспортной системы г. Волгограда к проведению Чемпионата мира по футболу 2018 г. // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 38(57). С. 109—119.
16. Radic J., Bleiziffer J., Tkalcic D. Maintaining safety and serviceability of concrete bridges in Croatia // Bridge Structures. 2005. Vol. 1. No. 3. Pp. 327—344.
17. Макаров А. В., Гулуев Г. Г., Шатлаев С. В. Реконструкция путепровода как требование безопасности // Инженер. вестн. Дона. 2017. № 2. URL: <http://www.ivdon.ru>.
18. Обследование мостовых сооружений с помощью современного оборудования / А. В. Макаров, Е. В. Крошнева, А. Ф. Файзалиев, М. А. Павлова, Д. М. Лепехина // Инженер. вестн. Дона. 2021. № 7. С. 10. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7095>.
19. Мосты и сооружения на дорогах : учеб. для вузов : в 2 ч. Ч. 1 / П. М. Саламахин, О. В. Воля, Н. П. Лукин и др. ; под ред. П. М. Саламахина. М. : Транспорт, 1991. 334 с.
20. Makarov A. V., Rekunov S. S. Strengthening bridge spans by composite materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 687. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019), Chelyabinsk, Sept. 25—27, 2019. Iss. 3: Construction, buildings and structures / Eds. A. A. Radionov, D. V. Ulrikh. Published by IOP Publishing, 2019. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/3/033038/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/687/3/033038.
21. Макаров А. В., Кульбин С. В. Новый способ усиления мостовых пролетных строений из композитных материалов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 48(67). С. 140—149.
22. Makarov A. V., Kalinovsky S. A., Ereshchenko T. V., Pavlova M. A. Some aspects of the bridges' functional qualities restoration // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1083. IOP Publishing, 2021. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012069/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012069.

© Макаров А. В., Калиновский С. А., Федорова В. С., Евдокименко А. О., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Калиновский С. А., Федорова В. С., Евдокименко А. О. Эффективный вариант завершения Нулевой продольной магистрали в Волгограде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 48—56.

Об авторах:

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

Калиновский Сергей Андреевич — канд. техн. наук, доц. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; sk0522@yandex.com

Федорова Виолетта Сергеевна — магистрант каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; gortenzia01@mail.ru

Евдокименко Андрей Олегович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; andrejevdoikimenko011@gmail.com

**Alexander V. Makarov, Sergey A. Kalinovsky, Violetta S. Fedorova,
Andrey O. Evdokimenko**

Volgograd State Technical University

AN EFFECTIVE OPTION FOR COMPLETING THE ZERO LONGITUDINAL HIGHWAY IN THE CITY OF VOLGOGRAD

A variant of improving the transport situation in Volgograd by extending the Zero longitudinal line to the border of Voroshilovsky and Sovetsky districts is proposed. An effective traffic scheme has been developed without intertwining traffic flows and traffic light regulation. In order to analyze the possibility of building a passage from the Zero longitudinal highway to the first, a survey of existing overpasses was conducted and recommendations were given on restoring durability and load capacity.

Key words: highway, modernization of the road network, traffic flow, defects, traffic pattern, durability, traffic jams, inspection of overpasses, load capacity, reinforcement of structures.

For citation:

Makarov A. V., Kalinovsky S. A., Fedorova V. S., Evdokimenko A. O. [An effective option for completing the Zero longitudinal highway in the city 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], 2022, iss. 2, pp. 48—56.

About authors:

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

Sergey A. Kalinovsky — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sk0522@yandex.com

Violetta S. Fedorova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gortenzia01@mail.ru

Andrey O. Evdokimenko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; andrejevdokimenko011@gmail.com

УДК 625.712

А. В. Макаров, С. А. Калиновский, В. С. Федорова

Волгоградский государственный технический университет

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО РЕДУЦИРОВАНИЯ

В представленной работе рассмотрены вопросы решения неполной алгебраической задачи собственных значений и собственных векторов. Для увеличения точности расчета и исключения из использования матриц высоких порядков предложена методика последовательного редуцирования матриц жесткости и эквивалентных масс. Методика основана на построении парциальных систем с использованием статического преобразования, с последующим решением собственной задачи для парциальной системы. В процессе решения этой задачи через собственные векторы системы второстепенные неизвестные редуцируются к основным. Динамическое редуцирование показало высокую точность расчета.

К л ю ч е в ы е с л о в а: динамическое редуцирование, пролетные строения мостов, матрица жесткости, динамический расчет, проблемы собственных значений и собственных векторов, континуально-стержневая система, матрица Гайана, оптимизация.

В настоящее время большое количество мостов строится по индивидуальным проектам. Причем создаются как уникальные сооружения, так и вполне обычные [1, 2]. Современные технологии позволяют применять в мостостроении обширный перечень материалов: алюминий, стали различной прочности — биметаллические [3], углепластик и другие композиты [4—6]. Использование новых материалов, в отличие от типовых конструкций, позволяет значительно повысить эффективность строительства, требует более детальных расчетов на прочность, устойчивость и, в особенности, на динамические воздействия.

Несмотря на отмеченные выше возможности в применении широкого спектра материалов и технологий, практика показывает, что проектировщики в своей работе пользуются устоявшимися представлениями о работе конструкций мостов, не стремясь к поиску и применению оптимальных параметров пролетных строений. Это отмечено ранее в работах, где рассматриваются пролеты балочных мостов [3, 7], арочных мостов [8]. Много вопросов возникает, в частности, при анализе напряженно-деформированного состояния металлического пролетного строения с ортотропной плитой (рис.). Например, прогибы кроющего листа вызывают продольные трещины в асфальтобетонном покрытии мостового полотна [9]. Проблема сейчас чаще всего решается увеличением толщины покрытия, что увеличивает вес сооружения и усиливает напряжения в продольном ребре ортотропной плиты, смежном с главной балкой пролетного строения. Следовательно, подобное проектное решение неэффективно и требуется детальное комплексное исследование на предмет поиска других вариантов.

Ярко выраженная тенденция к увеличению длин пролетов мостов требует уменьшения веса пролетных строений, что приводит к увеличению гибкости конструкции. Это означает, что пролетное строение становится более чувствительным к динамическим нагрузкам. В истории строительства мостов

немало примеров проявления чувствительности к аэродинамическим нагрузкам. Неоднократно наблюдались и колебания пролетных строений мостов, и случаи их обрушения в весьма короткие сроки. Для исключения появления резонансных колебаний или существенного уменьшения их амплитуд необходимы расчеты на динамические воздействия, которые проводятся программными комплексами, основанными на методе конечных элементов.



Пролетное строение с ортотропной плитой

Расчетная схема металлического или биметаллического пролетного строения моста с ортотропной плитой представляет собой сложную континуально-стержневую систему. Для обеспечения достаточной точности динамического расчета необходима детальная дискретизация конструкции — разбиение ее на конечные элементы как можно меньших размеров. Это приводит к построению матриц высоких порядков ($N = 10^6 \dots 10^8$), которые формируются и решаются в процессе расчета. Большой размер матриц позволяет существенно повысить точность вычислений, но занимает большой объем памяти и значительно увеличивает время вычислений. Поэтому стоит задача уменьшения порядка матриц в оперативной памяти.

Решение динамической задачи без учета демпфирования [10] в виде

$$MY'' + RY = -MY_0''$$

сводится к решению неполной проблемы собственных значений и собственных векторов. Система разрешающих уравнений в форме метода перемещений имеет вид

$$[K - \lambda M]\{y\} = 0. \quad (1)$$

Нужно заметить, что практический смысл имеет нахождение не всего спектра частот колебаний, а лишь нижней части спектра, потому что действующие на пролетное строение действительные вынуждающие нагрузки не могут иметь высокочастотный диапазон. Поэтому возможно понизить порядок исходных матриц жесткости и масс, разрабатывая методики редуцирования. Задача решения неполной алгебраической проблемы собственных значений и собственных векторов решалась и решается с разных сторон и реализуется как в форме метода перемещений [11], так и в форме смешанного

метода [12], а также с использованием математического моделирования [13, 14]. Известна методика статического редуцирования, которая привлекает простотой, но не является точной, поскольку не учитываются динамические свойства системы [14—17].

Предлагаемая методика учитывает динамические свойства системы и ввиду громадности матриц выполняется не одномоментно, а последовательно по блокам. Основные степени свободы системы r выбираются таким образом, чтобы массив второстепенных степеней свободы s был разделен на отдельные блоки, не имеющие связи друг с другом. Это позволит проводить редуцирование без потерь связей взаимодействия.

Редуцирование первого блока второстепенных степеней свободы.

Матрица-преобразователь Гайана порядка $(r + s)N$ имеет вид

$$A_{sr}^{(1)} = \begin{bmatrix} E_{r+s} \\ -[K_{ss}^{(2)}]^{-1} K_{sr}^{(2)} \\ -[K_{ss}^{(3)}]^{-1} K_{sr}^{(3)} \\ \dots\dots\dots \\ -[K_{ss}^{(t)}]^{-1} K_{sr}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

и используется для получения матриц первой частичной системы — блок основных и первый блок второстепенных степеней свободы порядка $(r + s)$:

$$K^* = [A_{sr}^{(1)}]^T \cdot K \cdot A_{sr}^{(1)}, \quad (3)$$

$$M^* = [A_{sr}^{(1)}]^T \cdot M \cdot A_{sr}^{(1)}.$$

Решая собственную задачу для частичной системы, находят собственные вектора

$$[K^* - \lambda M^*] \{y\} = 0 \quad (4)$$

и выполняют динамическое редуцирование первого второстепенного блока к основному. Связь между основными и второстепенными неизвестными для каждого собственного вектора и для первых векторов системы выражается равенством

$$[Y_{sr}] = A_{sr} \cdot [Y_{rr}], \quad (5)$$

где Y_{rr} — матрица основных компонентов первых r собственных векторов; Y_{sr} — матрица второстепенных компонентов этих же векторов. Тогда матрица-преобразователь будет иметь вид

$$A_{sr} = [Y_{sr}] [Y_{rr}]^{-1},$$

а выражение для собственного вектора запишется следующим образом:

$$\{y\} = \begin{Bmatrix} y_r \\ y_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_r \\ A_{sr} \end{bmatrix} = B \{y_r\}. \quad (6)$$

Матрицы жесткости и эквивалентных масс основных степеней свободы с учетом влияния первого второстепенного блока имеют вид

$$\begin{aligned} K_{rr}^{(1)} &= B^T K^* B, \\ M_{rr}^{(1)} &= B^T M^* B. \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогично изложенному выполняется редуцирование всех второстепенных блоков к блоку основных переменных, повторяя преобразования (2)—(7). Матрицы жесткости и масс полностью редуцированной системы получаются суммированием всех редуцированных парциальных систем за вычетом матриц основного блока K_{rr} , M_{rr} , влияние которого учитывалось на каждом этапе редуцирования.

$$\begin{aligned} \tilde{K}_{rr} &= \sum_{i=1}^t K_{rr}^{(i)} - (t-1)K_{rr}, \\ \tilde{M}_{rr} &= \sum_{i=1}^t M_{rr}^{(i)} - (t-1)M_{rr}. \end{aligned} \quad (8)$$

Такой алгоритм динамического редуцирования показывает хороший результат решения собственной проблемы в нижней части спектра частот колебаний, но имеет технический недостаток. В выражениях (2) и (3) используются матрицы высоких порядков, занимающие большой объем оперативной памяти. Предложим иной способ формирования матриц жесткости и масс парциальных систем без использования исходных матриц высоких порядков целиком.

Сначала получим редуцированные матрицы жесткости и масс основного блока с помощью последовательных статических преобразований [18—20]:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{rr} &= K_{rr} - \sum_{i=1}^t K_{rs}^{(i)} A_{sr}^{(i)}, \\ \bar{M}_{rr} &= M_{rr} - \sum_{i=1}^t M_{rs}^{(i)} A_{sr}^{(i)} - \sum_{i=1}^t \left[A_{sr}^{(i)} \right]^T M_{sr}^{(i)} + \sum_{i=1}^t \left[A_{sr}^{(i)} \right]^T M_{ss}^{(i)} A_{sr}^{(i)}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $A_{sr}^{(i)} = \left[K_{ss}^{(i)} \right]^T K_{sr}^{(i)}$ — статическое преобразование Гайана для i -го второстепенного блока.

Матрицы жесткости и масс первой парциальной системы в этом случае будут иметь вид

$$\begin{aligned} K^* &= \begin{bmatrix} \hat{K}_{rr} & K_{rs}^1 \\ K_{sr}^1 & K_{ss}^1 \end{bmatrix}, \\ M^* &= \begin{bmatrix} \hat{M}_{rr} & M_{rs}^1 \\ M_{sr}^1 & M_{ss}^1 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (10)$$

где K_{ss}^1 , M_{ss}^1 — матрицы жесткости и масс первого второстепенного блока; $\hat{K}_{rr}$, $\hat{M}_{rr}$ — матрицы блока основных неизвестных после статического сведения к ним всех второстепенных блоков, кроме первого, которые могут быть получены в соответствии с выражениями (8) с помощью обратного преобразования:

$$\begin{aligned}\hat{K}_{rr} &= \bar{K}_{rr} + K_{rs}^1 A_{sr}^1, \\ \hat{M}_{rr} &= \bar{M}_{rr} + M_{rs}^1 A_{sr}^1 + [M_{rs}^1 A_{sr}^1]^T - [A_{sr}^1]^T M_{ss}^1 A_{sr}^1.\end{aligned}\quad (11)$$

Далее выполняется динамическое редуцирование в соответствии с алгоритмом выражений (4)—(7). По той же схеме строятся матрицы следующих парциальных систем и выполняется их редуцирование к основному блоку переменных. Окончательные матрицы получаются в соответствии с выражениями (8).

Проиллюстрируем предложенную методику редуцирования на примере защемленной по концам балки, имеющей 142 динамические степени свободы. Для простоты длину конечного элемента примем единичной $l = 1$, изгибная жесткость также $EI = 1$. Редуцирование проведем к 22 степеням свободы. Основные степени свободы выберем так, чтобы второстепенные разделились на шесть независимых блоков с числом неизвестных по двадцать в каждом. Таким образом, исходные данные примера имеют вид: $N = 142$, $r = 22$, $t = 6$, $s = 20$. Для анализа эффективности предложенной методики выполнялись три расчета: решалась полная проблема собственных значений и собственных векторов, решалась частичная проблема СЗ и СВ со статическим редуцированием матриц и частичная проблема СЗ и СВ с последовательным динамическим редуцированием.

Результаты расчетов собственных значений главных переменных представлены в табл. Анализ полученных данных показывает, что точность расчета частот собственных колебаний системы с помощью динамического редуцирования выросла. Основная частота колебаний и последующие 14 вычисляются со 100%-й точностью и еще пять — с погрешностью до 1 %. Применяемый метод статического редуцирования позволял точно вычислить только основную частоту и еще четыре с погрешностью до 1 %. Заметим, что резонансные колебания могут возникнуть не только по основной частоте, но по любой из низших частей спектра, поэтому точные вычисления последних помогут избежать наступления опасных резонансных колебаний.

Основные выводы:

1. Предлагаемые новые конструктивные и планировочные решения мостовых сооружений нуждаются в детальных расчетах с целью выявления наиболее эффективных форм.
2. Предлагаемая методика определения частот свободных колебаний мостов не использует матрицы высоких порядков, затрачивает меньше машинного времени и позволяет получить только необходимые данные для анализа динамического поведения конструкции.
3. Предложенная методика последовательного динамического редуцирования показала высокую точность расчета для 90 % рассчитываемых значений против 36 % при расчете по известной методике.

Результаты расчетов собственных значений главных переменных

Номер собственного значения	Собственные значения				
	При реше- нии полной проблемы $N = 142$	При статическом редуцировании системы к 22 степеням свободы		При динамическом редуцировании системы. Основной блок — 22 степени свободы, второстепенный — шесть блоков по 20 степеней свободы	
		λ	$\Delta, \%$	λ	$\Delta, \%$
1	2	3	4	5	6
1	0,0000186	0,0000186	0	0,0000186	0
2	0,000141	0,000141	0,03	0,000141	0
3	0,000543	0,000543	0,1	0,000543	0
4	0,00148	0,00149	0,26	0,00148	0
5	0,00331	0,00333	0,55	0,00331	0
6	0,00647	0,00653	1,04	0,00647	0
7	0,0114	0,0116	1,75	0,0114	0
8	0,0189	0,0194	2,68	0,0189	0
9	0,0295	0,0306	3,77	0,0295	0
10	0,044	0,0462	4,67	0,044	0
11	0,0634	0,0655	3,26	0,0634	0
12	0,0885	0,107	17,68	0,0885	0
13	0,12	0,145	17,23	0,12	0
14	0,16	0,199	19,49	0,16	0
15	0,209	0,27	22,68	0,209	0
16	0,268	0,366	26,58	0,268	0,01
17	0,34	0,493	31,07	0,34	0,03
18	0,424	0,662	35,97	0,426	0,05
19	0,524	0,883	40,67	0,528	0,44
20	0,64	1,159	44,73	0,65	0,84
21	0,775	1,468	47,20	0,847	8,56
22	0,93	1,751	46,91	1,083	14,16

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчинников И. И., Караханян А. Б., Овчинников И. Г., Скачков Ю. П. Современные пешеходные и велосипедные мосты (основные концепции проектирования и примеры): моногр. Пенза : ПГУАС, 2018. 140 с.
2. Ivanova N. V., Makarov A. V., Kalinovsky S. A. The main aspects of the bionic bridges building // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. No. 7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077007/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/698/7/077007.
3. Макаров А. В., Калиновский С. А. Design features of bimetallic bridges // E3S Web of Conferences. Vol. 97. XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019), Tashkent, Uzbekistan, Apr. 18—21, 2019 / Eds. A. Volkov et al. EDP Sciences, 2019. 9 p. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/23/e3sconf_form2018_06001.pdf.
4. Stolyarov O. N., Olshevskiy V. Y., Dontsova A. E., Demidova Y. A. Carbon fibers in bridge construction // Construction of Unique Buildings and Structures. 2019. Vol. 3. No. 78. Pp. 36—49. DOI: 10.18720/CUBS.78.3.
5. Strugach A. G., Trifonov A. G. Architecture of contemporary pedestrian bridges made of fiber-reinforced composite materials // Russian journal of transport engineering. 2019. Vol. 1. No. 6. DOI: 10.15862/17SATS119. URL: <http://dx.doi.org/10.15862/17SATS119>.

6. Bridge structures made of composites / A. E. Ushakov, U. G. Klenin, T. G. Sorina, A. H. Khairtdinov, A. A. Safonov // Composites and nanostructures. 2009. No. 3. URL: https://www.researchgate.net/publication/310601955_Mostovye_konstrukcii_iz_kompozitov.
7. Макаров А. В., Калиновский С. А. Economical reinforced concrete overpass. Graphical method of calculation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. T. 962. Междунар. конф. по безопасности стр-ва, архитектуры и техносферы (ICCATS 2020), Сочи, 6—12 сент. 2020 г. IOP Publishing, 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022051/pdf>.
8. Makarov A. V., Kalinovskiy S. A. Methods of regulating thrust in design of arch bridges // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 451. No. 1. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/451/1/012054/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012054.
9. Макаров А. В., Калиновский С. А., Ерещенко Т. В., Павлова М. А. Вопросы экономического восстановления эксплуатационных свойств мостов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 96—103.
10. Бабаков И. М. Теория колебаний. М. : Дрофа, 2004. 591 с.
11. Игнатьев В. А., Ромашкин В. Н. Алгебраическая проблема собственных векторов и собственных значений высокого порядка в задачах динамики и устойчивости конструкций (обзор) // Интернет-вестн. ВолГАСУ. Сер. : Политематическая. 2015. Вып. 2(38). URL: www.vestnik.vgasu.ru.
12. Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Гамзатова Е. А. Анализ изгибаемых пластинок, имеющих жесткие включения или отверстия, по МКЭ в форме классического смешанного метода // Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во. 2017. № 9. С. 5—14.
13. Игнатьев А. В., Игнатьев В. А. Математическое моделирование неполной алгебраической проблемы собственных значений и собственных векторов для получения редуцированного частотного уравнения и его решения // VII Междунар. симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE 2018)» : программа и тез. докл., Новосибирск, 1—8 июля 2018 г. / Отв. ред. В. И. Травуш и др.; сост. Н. И. Карпенко и др. Новосибирск, 2018. С. 263.
14. Игнатьев А. В., Игнатьев В. А. The mathematical modeling of the incomplete algebraic eigenvector and eigenvalue problem for obtaining the reduced frequency equation and its solution // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 456. VII International Symposium Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering, Novosibirsk, Russian Federation, July 1—8, 2018. IOP Publishing, 2018. 6 p. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/456/1/012109/pdf>.
15. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Пер. с англ. М. : Мир, 1984. 428 с.
16. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация / Пер. с англ. М. : Мир, 1986. 318 с.
17. Гусев С. С., Куранов Б. А. Особенности применения метода суперэлементов в задачах устойчивости и свободных колебаний // Тр. 14 Всесоюз. конф. по теории пластин и оболочек, Кутаиси, 20—23 окт. 1987. Тбилиси : Изд-во Тбилисского ун-та, 1987. Т. 1. С. 445—449.
18. Игнатьев В. А., Макаров А. В., Сухин К. А. Расчет стержневых систем на основе энергетического варианта метода частотно-динамической конденсации с использованием собственных векторов подсистем // Городские агломерации на оползневых территориях : материалы Междунар. науч. конф., 2003. С. 113—120.
19. Игнатьев В. А., Ромашкин В. Н. Использование сплайн-коллокационной интерполяции для нахождения редуцированного спектра частот и форм свободных колебаний систем с большим числом степеней свободы // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : тез. докл. V Междунар. симп., Иркутск, 1—6 июля 2014 г. Иркутск, 2014. С. 104—105.
20. Рудых О. Л. Совершенствование метода редуцированных элементов на основе синтеза с методом суперэлементов // Изв. вузов. Стр-во. 2006. № 7. С. 103—108.

© Макаров А. В., Калиновский С. А., Федорова В. С., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Калиновский С. А., Федорова В. С. Расчет конструкций мостов с применением метода динамического редуцирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 57—64.

Об авторах:

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

Калиновский Сергей Андреевич — канд. техн. наук, доц. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; sk0522@yandex.com

Федорова Виолетта Сергеевна — магистрант каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; gortenzia01@mail.ru

Alexander V. Makarov, Sergey A. Kalinovsky, Violetta S. Fedorova

Volgograd State Technical University

CALCULATION OF BRIDGE STRUCTURES USING THE DYNAMIC REDUCTION METHOD

In the present paper, the problems of solving an incomplete algebraic problem of eigenvalues and eigenvectors are considered. To increase the accuracy of calculation and exclude the use of high-order matrices, a method of sequential reduction of stiffness matrices and equivalent masses is proposed. The technique is based on the construction of partial systems using static transformation, followed by solving its own problem for the partial system. In the process of solving this problem through the eigenvectors of the system, the minor unknowns are reduced to the main ones. Dynamic reduction showed high accuracy of calculation.

Key words: dynamic reduction, bridge spans, stiffness matrix, dynamic calculation, problems of eigenvalues and eigenvectors, continuum-rod system, Guyana matrix, optimization.

For citation:

Makarov A. V., Kalinovsky S. A., Fedorova V. S. [Calculation of bridge structures using the dynamic reduction 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], 2022, iss. 2, pp. 57—64.

About authors:

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

Sergey A. Kalinovsky — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sk0522@yandex.com

Violetta S. Fedorova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gortenzia01@mail.ru

УДК 539.32, 624.046

С. Ю. Калашников^{а, б}, Е. В. Гурова^а, Е. Г. Шведов^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Центральный научно-исследовательский и проектный институт
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации*

ПРАКТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕЙ С ИНДУЦИРОВАННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Работа выполнена по Плану фундаментальных научных исследований
Российской академии архитектуры и строительных наук и Министерства строительства
и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2021 г. по теме № 3.1.1.14
«Разработка методов определения устойчивости стержней с анизотропией,
индуцированной видом напряженного состояния».

В статье предлагаются практические приемы оценки запаса устойчивости стержней, приобретающих анизотропию вследствие неоднородности напряженного состояния. В рассматриваемой модели материала стеснение деформаций при изгибе приводит к индуцированной анизотропии, изменению упругих характеристик материала и уменьшению деформативности при продольном изгибе. На основании ранее полученных вариационным методом решений предлагаются простые расчетные формулы для инженерной оценки запаса устойчивости сжимаемых стержней с достаточной степенью точности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: инкрементальная теория, индуцированная анизотропия, критические силы, градиентный коэффициент, запас устойчивости.

В ряде исследований¹ [1—6] установлена зависимость поведения материала в исследуемой точке от напряженного состояния соседних точек континуума. Эта зависимость характеризуется учетом в определенных соотношениях градиентов тензоров напряжений и деформаций относительно пространственных координат. При неоднородном напряженном состоянии имеет место стеснение деформаций (или эффект «обоймы»). Менее напряженные объемы материала «поддерживают» более напряженные объемы, усиливая их сопротивляемость деформированию. Чем большей будет неоднородность напряженного состояния, тем большей будет степень взаимодействия разнотензионных областей материала.

В [7—12] такое влияние упругодеформированных областей материала учитывалось на уровне условий пластичности. В [13, 14] построена инкрементальная модель поведения упругого изотропного материала, находящегося в общем случае пространственно-неоднородном напряженно-деформированном состоянии. В качестве меры неоднородности используется вектор-градиент скалярного поля напряжений, характеризующий направление и степень стеснения деформаций. Включение модуля вектор-градиента в физические соотношения предлагаемой модели приводит к уравнениям с наведенной анизотропией. Возникающая вследствие неоднородности напряженного состояния индуцированная криволинейная трансверсальная анизотропия описывается сложно изменяющимися в пределах размеров стержня упругими характеристиками.

¹ *Фадеев А. А.* Особенности работы стали в элементах металлических конструкций при неравномерном распределении напряжений : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1983. 22 с.

В [15, 16] модель была применена к задачам продольного изгиба стержней.

В [17] на основе анализа очевидной тенденции нарастания прогиба были получены предположения о величине критической силы при учете градиентного эффекта вследствие наведенной анизотропии свойств материала сжимаемого стержня. Решения были получены с помощью метода Бубнова — Галеркина для простого центрально сжимаемого стержня прямоугольного сечения.

Предполагалось, что деформирование материала отвечает модели поведения [13], когда неоднородность распределения напряжений в окрестности рассматриваемой точки вызывает анизотропию физических свойств. В [15, 16] степень неоднородности напряженного состояния в произвольном поперечном сечении центрально-сжимаемого стержня в отклоненном состоянии характеризовалась отношением

$$g = \frac{\text{grad } T}{T} = \frac{1}{b^2 / 12y}, \quad (1)$$

где T — интенсивность касательных напряжений в поперечном сечении; y — прогиб произвольного сечения; b — высота поперечного сечения в плоскости наименьшей жесткости. Это в соответствии с [13] приводит к повышенным значениям градиентного модуля упругости

$$E_{gr} = E_0 \left(\frac{\lambda_E \cdot b^2 + 18y}{\lambda_E \cdot b^2 + 12y} \right) \quad (2)$$

и, соответственно, к иному дифференциальному уравнению изогнутой оси для отклоненного состояния сжимаемого стержня:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} + \frac{F}{JE_0} y \frac{a + y}{a + 1,5y} = 0. \quad (3)$$

В последних соотношениях обозначено: $a = \lambda_E b^2 / 12$, E_0 — модуль Юнга, y — прогиб в произвольном сечении, λ_E — упругая характеристика материала.

В [17] было получено решение для (3), которое строится на вариационном анализе прогибов стержня с использованием метода Бубнова — Галеркина. Установлено заметное увеличение сжимающей силы, принимаемой за критическую, отвечающей значительному нарастанию прогибов, по сравнению с бифуркационным подходом.

При вычислении функции неоднородности напряженного состояния по (1) эти значения оказались большими эйлеровой силы и составили $F_{кр} = 1,25F_Э$; $1,23F_Э$ и $1,2F_Э$ для стержней с высотой поперечного сечения $b = 0,02$ м; $0,025$ м и $0,03$ м соответственно, при одинаковой ширине поперечного сечения $b = 0,05$ м.

Возникает вопрос о целесообразности формирования и реализации систем уравнений вариационного метода при столь близких результатах и о возможности практического получения результатов, а также о возможности на уровне инженерного расчета.

В самом деле, для рассматриваемого стержня длиной $l = 1$ м область изменения функции g в реальном интервале гибкостей $\lambda_{\text{пред}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{max}}$ находится на отрезке 10,02...40,10 при нормировании максимального прогиба величиной $1/1000$ пролета. Минимальная предельная гибкость $\lambda_{\text{пред}} = 100$ не позволяет допускать в сечении пластические деформации. Максимально допускаемая гибкость $\lambda_{\text{max}} = 200$ отвечает нормам проектирования² для стальных стержней. Это приводит к изменению модуля упругости по (2) для одного из стержней в интервале $1,15E_0 \dots 1,34E_0$. Графически это представлено на рис. 1.

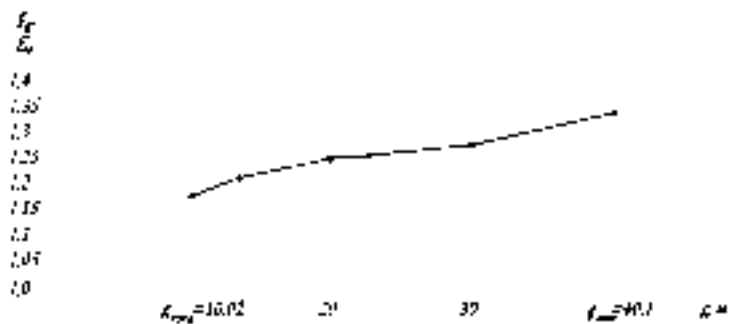


Рис. 1. График изменения градиентного модуля упругости для стального стержня длиной $l = 1$ м с $b = 0,02$ м

Соотношение допускаемого прогиба и соответствующих превышений градиентного модуля упругости для рассматриваемых высот поперечного сечения представлены в табл.

Градиентные коэффициенты для различных высот поперечного сечения при нормируемых прогибах

$b, \text{ м}$	g по (1)			$k_{gr} = E_{gr} / E_0$			$F_{кр} / F_3$			$F_{кр} / F_{кр}^{\text{max}}$		
	$y_{\text{max}} = \frac{1}{1000}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{500}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{200}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{1000}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{500}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{200}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{1000}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{500}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{200}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{1000}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{500}l$	$y_{\text{max}} = \frac{1}{200}l$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,02	30	60	150	1,3	1,38	1,44	1,25	1,3	1,36	0,96	0,94	0,94
0,25	19,2	38,4	96	1,24	1,33	1,30	1,19	1,25	1,34	0,96	0,94	0,97
0,03	13,3	26,7	66,7	1,21	1,30	1,38	1,17	1,23	1,31	0,96	0,95	0,95

Если использовать наибольшее из значений градиентного модуля упругости, индуцированного в сечении с максимальным нормируемым прогибом, то наибольшее значение отвечающей ему силы

$$F_{кр}^{\text{max}} = \frac{\pi^2 E_{gr} J}{\mu l^2} = k_{gr} F_3, \quad (4)$$

где градиентный коэффициент $k_{gr} = E_{gr} / E_0$.

² СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализир. ред. СНиП II-23-80*. М.: Минстрой России, 2017.

Предлагаемое соотношение несвободно от замечаний, так как использует конкретное численное значение градиентного модуля упругости, а именно: в сечении с $z = l/2$, при этом на оси стержня, т. е. наибольшее из всей совокупности возможных как по длине, так и по ширине сечения стержня. В графах 8—10 табл. приведены отношения принимаемых по величине прогибов критических сил по результатам реализации уравнений метода Бубнова — Галеркина (7)—(9) из [17], представленных в табл. 2—4 [там же], к соответствующему значению эйлеровой силы. В трех последних столбцах показано отношение принимаемых критических сил по анализу диаграммы «нагрузка — прогиб» (рис. 3—5 [там же]) и значений, вычисленных по формуле (4) и выражению для модуля упругости (2).

Из анализа приведенных соотношений следует, что с достаточной степенью точности для инженерной оценки запаса устойчивости при индуцированной видом напряженного состояния анизотропии в рассматриваемом стержне можно принять

$$F_{кр} = 0,95k_{gr}F_{э}. \quad (5)$$

Чем большее значение будет разрешаться максимальному прогибу, тем большим будет градиентный коэффициент вследствие возрастающей неоднородности напряженного состояния. Для стержней другой длины или с другими размерами поперечных сечений будут иметь место другие значения функции неоднородности напряженного состояния (1), значения градиентного модуля упругости (2) и, соответственно, градиентных коэффициентов (рис. 2). Отметим также, что использование иных алгебраических функций, кроме дробно-линейной, изменяет выражение (2) и также приводит к другим значениям k_{gr} .

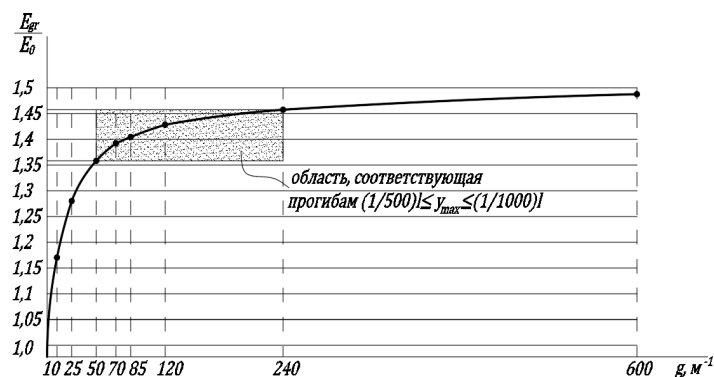


Рис. 2. Области изменения градиентного коэффициента для стержня $l = 1,0$ м, $b \geq 0,01$ м

Например:

а) пусть нормируемый $y_{max} = \frac{1}{1000}l = 1$ мм, $b = 0,02$ м, $E_{gr} = 1,3E_0$
по (2) $\Rightarrow k_{gr} = 1,3$; по (5) $F_{кр} = 0,95 \cdot 1,3F_{э} = 1,235F_{э}$; из табл. 2 [17] по

решению следует, что $F_{кр} \leq 85,5 \text{ кН}$ или $1,25F_3$, что даже чуть больше оценочного подсчета;

б) пусть $y_{\max} = \frac{1}{500}l = 2 \text{ мм}$, $b = 0,025 \text{ м}$, $E_{gr} = 1,33E_0$ по (2) $\Rightarrow k_{gr} = 1,33$;

по (5) $F_{кр} = 0,95 \cdot 1,33F_3 = 1,26F_3$; из табл. 3 [17] по решению следует, что $F_{кр} > 168,3 \text{ кН}$ или $1,25F_3$;

в) пусть $y_{\max} = \frac{1}{200}l = 5 \text{ мм}$, $b = 0,03 \text{ м}$, $E_{gr} = 1,38E_0$ по (2) $\Rightarrow k_{gr} = 1,38$;

по (5) $F_{кр} = 0,95 \cdot 1,38F_3 = 1,311F_3$; из табл. 4 [17] по решению следует, что $F_{кр} < 307,4 \text{ кН}$ или $1,325F_3$, что на 1 % больше оценочного значения.

Выводы

В качестве способов практического учета градиентного эффекта для определения критической продольной сжимающей нагрузки при уточненной оценке устойчивости стержня в сжато-изогнутом деформированном состоянии предложено использование расчетных коэффициентов.

Приведенные примеры демонстрируют возможность практической оценки предельного состояния сжатого стержня вследствие индуцированной анизотропии по нижней планке через учет градиентного модуля упругости. Одновременное с этим обеспечение параметров механической безопасности может привести к снижению материалоемкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балдин В. А. Об учете пластических деформаций при неравномерном распределении напряжений по сечению // Строительная механика и расчет сооружений. 1977. № 1. С. 29—31.
2. Фадеев А. А. О переходе малоуглеродистой стали в упруго-пластическое состояние при неравномерном распределении напряжений (при чистом изгибе) // Тр. ин-та ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. 1982. Исследования прочности элементов строительных металлических конструкций. С. 85—91.
3. Балдин В. А., Потапов В. Н., Фадеев А. А. О сопротивлении стали деформированию при неравномерном распределении напряжений // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. № 5. С. 23—26.
4. Campus F. Plastification de l'acier doux en flexion plane simple // Bull. de la classe des Sciences de l'Academie R. de Belgique. Serie 5. 1963. Vol. 49. Iss. 4. Pp. 303—314.
5. Dehousse N. M. Note relative a un phenomene de superelasticite en flexion constate lors d'essais d'un barreau en acier doux // Bull. de la classe des Sciences de l'Academie R. de Belgique. Serie 5. 1962. Vol. 48. Pp. 329—334.
6. Калашиников С. Ю. Экспериментальная проверка модели деформирования материала в условиях неоднородного напряженного состояния : моногр. Волгоград : ВолгГТУ, 2017. 80 с.
7. König J. A., Olszak W. The yield criterion in the general case of nonhomogeneous stress and deformation fields // Topics in Appl. continuum mech. Wien — New York : Springer : Verlag, 1974. Pp. 58—70.
8. Wo Guowei, Jing Yangjie. Influence of stress distribution on yield limit // J. Schanghai Jiatong Univ. 1984. No. 5. Pp. 135—142.
9. Гениев Г. А., Калашиников С. Ю. О построении инкрементальных условий пластичности. М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1984. 14 с. Деп. по ВНИИИС 16.02.84, № 4817.
10. Гениев Г. А., Калашиников С. Ю. Об учете влияния неоднородности напряженного состояния на переход материала в пластическое состояние // Строительная механика и расчет сооружений. 1988. № 6. С. 12—15.
11. Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Калиновский С. А. The incremental application for pure bending of a curved bar (Golovin problem) // E3S Web of Conferences. Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020) Vol. 210. Divnomorskoe village, Russian Federation,

Aug. 19—30, 2020 / Eds. D. Rudoy, A. Olshevskaya, V. Kankhva. Publ. by EDP Sciences, 2020. 6 p.
DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021008017>. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/70/e3sconf_itse2020_08017.pdf.

12. Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Калиновский С. А. Практические способы реализации инкрементальных условий пластичности в стержневых элементах строительных конструкций // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 6—14.

13. Гениев Г. А., Калашиников С. Ю. Инкрементальная теория нелинейного деформирования тел в условиях неоднородного напряженного состояния : моногр. Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т., 2004. 172 с.

14. Гениев Г. А., Калашиников С. Ю. О построении уравнений плоской задачи инкрементальной теории упругости // Тр. ин-та ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. 1986. Исследования по строительной механике и надежности конструкций. С. 4—13.

15. Калашиников С. Ю., Гурова Е. В. Упругое деформирование брусев при учете вида напряженного состояния в окрестности рассматриваемой точки // Инженер.-строит. вестн. Прикаспия. 2021. Вып. 4(38). С. 5—10.

16. Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Курамышин Р. Х., Языев Б. About the distortion model of operational compressed-bent bars with induced anisotropy // International Scientific Conference on Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies. Moscow, Nov. 26, 2021 / Eds. A. Ginzburg, G. Kashevarova. Springer, Cham, 2022. Pp. 95—102.
URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96206-7_10.

17. Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Шведов Е. Г. Применение метода Бубнова — Галеркина для анализа деформирования сжато-изогнутого стержня с индуцированной анизотропией // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. Вып. 1. С. 132—144.

© Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Шведов Е. Г., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Калашиников С. Ю., Гурова Е. В., Шведов Е. Г. Практические способы реализации задач устойчивости стержней с индуцированной анизотропией // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 65—71.

Об авторах:

Калашиников Сергей Юрьевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kalashnikov@vstu.ru

Гурова Елена Владимировна — канд техн. наук, доц. каф. экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; eun.cafedra@yandex.ru

Шведов Евгений Геннадьевич — канд. физ.-мат. наук, доц. каф. прикладной математики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28; esheg@rambler.ru

Sergei Yu. Kalashnikov^{a, b}, Elena V. Gurova^a, Evgeniy G. Shvedov^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation*

PRACTICAL METHODS OF IMPLEMENT STABILITY PROBLEMS OF RODS WITH INDUCED ANISOTROPY

The article offers practical methods for assessing the stability margin of rods that acquire anisotropy due to the inhomogeneity of the stress state. In the material model under consideration, the

constraint of deformations during bending leads to induced anisotropy, a change in the elastic characteristics of the material and a decrease in deformability during longitudinal bending. Based on the solutions previously obtained by the variational method, simple calculation formulas are proposed for the engineering assessment of the stability margin of compressible rods with a sufficient degree of accuracy.

Key words: incremental theory, induced anisotropy, critical forces, gradient coefficient, stability margin.

For citation:

Kalashnikov S. Yu., Gurova E. V., Shvedov E. G. [Practical methods of implement stability problems of rods with induced anisotropy]. *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], 2022, iss. 2, pp. 65—71.

About authors:

Sergei Yu. Kalashnikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kalashnikov@vstu.ru

Elena V. Gurova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eun.cafedra@yandex.ru

Evgeniy G. Shvedov — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Volgograd State Technical University. 28, Lenin Ave., Volgograd, 400074, Russian Federation; esheg@rambler.ru

УДК 620.191.33:666.974.2

Р. А. Бурханова, Н. Ю. Евстафьева, Т. К. Акчурин, И. В. Стефаненко

Волгоградский государственный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОДЫ

В статье проанализированы традиционные методы защиты бетона от воздействия влаги и технологии их выполнения. Даны характеристики системам защиты бетонных конструкций нескольких видов: защита конструкций из бетона от проникновения воды гидроизоляционными материалами на цементной основе, защита при давлении воды на него, защита поверхности бетона от атмосферных воздействий, восстановление железобетонных конструкций до рабочего состояния, защита поверхности от биологического разрушения бактериями, грибами и плесенью. Описан принцип работы пенетрирующих материалов. Рассмотрены современные технологии защиты строительных материалов и конструкций, такие как метод защиты от капиллярного проникновения воды, метод защиты от активного проникновения воды через швы, трещины и рыхлый бетон; метод инъектирования в конструктив бетона гидроактивных полиуретанов для заполнения пустот и трещин. Таким образом, широкое использование модификации и направленное регулирование эксплуатационных характеристик эпоксидных смол позволяют создавать эффективные высококачественные материалы на их основе с заранее заданными свойствами.

Ключевые слова: методы защиты бетона, гидроизоляционные материалы, модифицированный бетон, структура, современные технологии.

В последние годы при росте объемов и качества нового строительства в эксплуатации находится достаточное количество старых построек, которые вследствие коррозии бетона или кирпичной кладки подвержены разрушениям. Высокий уровень грунтовых вод подвалов и фундаментов может подвергнуть строительные конструкции чрезмерному увлажнению, что приведет к развитию грибков, плесени и бактерий, а также может спровоцировать возникновение протечек воды. Все вышесказанное приводит к вымыванию частиц раствора, что, в свою очередь, вызывает разрушение стен. Большинство оснований в строительстве имеют пористую структуру и хорошо пропускают воду. Фундаменты и другие конструктивные элементы, не обработанные гидроизолирующими материалами, пропускают влагу, проникающую в поры, которая там при замерзании расширяется и разрывает, разламывает поверхность на глубину своего проникновения. Бордюрный камень, например, за один сезон может разрушиться полностью. Поэтому значение гидроизоляции нельзя не оценить.

Протечки и намокание конструкций вызываются многообразием причин, поэтому универсальных методов и материалов для защиты нет. Выбор наиболее эффективной и экономичной системы гидроизоляции требует тщательного обследования строительных конструкций и сооружений. Максимальный эффект защиты может обеспечить только комплексный подход с освидетельствованием объекта, подготовкой технического решения, подбором нужного комплекта материалов и выполнением работ специалистами должной квалификации. Согласно существующей классификации, методы гидроизоляции бетонных и железобетонных сооружений и конструкций можно разделить на

две группы: первичные и вторичные. Ограждающие бетонные и железобетонные конструкции используются для первичной защиты в качестве гидроизоляции. Вторичная защита может быть засыпной, обмазочной, оклеечной, штукатурной, пропиточной, проникающей, гидрофобизирующей, мембранной — в зависимости от технологии и применяемых материалов гидроизоляции* [1—7].

Традиционные методы защиты бетона от воздействия влаги и технологии их выполнения уже не могут удовлетворить заказчиков и соответствовать требованиям современного рынка к качеству гидроизоляционных работ. Современные технологии и гидроизоляционные материалы, быстро развивающиеся в нашей стране в последнее время, позволили специалистам освоить прогрессивные методы производства работ, и на текущий момент для них практически нет неразрешимых задач в области защиты строительных материалов и конструкций от проникновения влаги и биологических разрушителей.

Системы защиты бетонных конструкций можно подразделить на несколько видов: защита конструкций из бетона от проникновения воды гидроизоляционными материалами на цементной основе; защита при давлении воды на него; защита поверхности бетона от атмосферных воздействий; восстановление железобетонных конструкций до рабочего состояния; защита поверхности от биологического разрушения бактериями, грибами и плесенью.

Гидроизоляционные материалы подразделяют на рулонные, мастичные, материалы на основе минеральных смесей, системы проникающего действия и используемые в качестве отсечной изоляции (щитов или гидроизоляционных барьеров). Рулонные материалы бывают с основой и безосновные, по виду вяжущего делятся на битумные, битумные модифицированные, полимербитумные и полимерные. Современные «холодные мастики» применяются без разогрева и различаются по составу как одно- и двухкомпонентные. Комплексная защита конструкций от увлажнения обеспечивается их инъектированием, диффузионной или поверхностной пропиткой. Применение материалов «кристаллизационного барьера» для обеспечения водонепроницаемости имеет ряд преимуществ.

Гидроизоляции с помощью наклейки рулонных материалов или использования мастичных мембран требуют сухого основания, пенетрирующие материалы «кристаллизационного барьера» наносятся на влажную поверхность. В этом заключается отличие от традиционных методов защиты.

Также, в отличие от традиционных способов гидроизоляции, пенетрирующие материалы обеспечивают радиальное распространение эффекта уплотнения капилляров. Даже «пробелы» при их нанесении, а также возможные повреждения нанесенного слоя при засыпке подземных конструкций не приводят к потере гидроизолирующего эффекта. И последнее отличие: возможно нанесение пенетрирующих материалов на конструкции с негативной по отношению к обводненной поверхности стороны, что позволяет вести работы по гидроизоляции существующих подземных и

* Рекомендации по применению защитно-конструкционных полимеррастворов при реконструкции и строительстве гражданских зданий / НИЛЭП ОСИ. М. : Стройиздат, 1981. 112 с.

обвалованных конструктивов без их откопки, а также обеспечивать гидроизоляцию конструкций, выполняемых по методу «стена в грунте».

К современным технологиям защиты строительных материалов и конструкций можно отнести: метод защиты от капиллярного проникновения воды; метод защиты от активного проникновения воды через швы, трещины и рыхлый бетон; метод инъектирования в конструктив бетона гидроактивных полиуретанов для заполнения пустот и трещин.

Гидроизоляционные материалы на цементной основе характерны для двух первых случаев. Они лучше всего подойдут для предупреждения капиллярного проникновения воды через поры бетона. Проникающее действие материала обеспечивают содержащиеся в нем минерально-химические добавки, которые в присутствии влаги и свободного кальция образуют в капиллярах бетона нерастворимые в воде кристаллы, способные проникать в глубину материала на значительную величину, что и обеспечивает водонепроницаемость бетона [8—12].

Капилляры малы в плотных бетонах, и использование таких материалов дает максимальный эффект. При больших порах в бетоне и наличие микротрещин рост кристаллов идет очень медленно или совсем прекращается. В этом случае целесообразнее применять бронирующую гидроизоляцию, которая представляет собой толстый слой подбетонки из гидроизоляционной цементно-песчанной смеси (не менее 5 см), который наносится как обычная штукатурка или методом торкретирования.

Качество подготовки поверхности требует особого внимания при нанесении гидроизоляционных материалов. Очистка от пыли, грязи и рыхлостей бетона, увлажнение и при необходимости обработка нейтрализаторами солей, санирование биоцидными составами являются необходимой стадией технологии нанесения защитных гидроизоляционных покрытий.

Быстротвердеющие гидроизоляционные материалы (плаги) устраняют места активных протечек воды через трещины и швы. Специальные материалы (полимерцементные) предназначены для ремонта каверн, текущих швов и деструктивного бетона, они получили широкое применение. Такие материалы под разными названиями с добавлением слов «плаг» или «патч», что в переводе значит «пробка» и «заплата» соответственно, представляют собой порошки на основе алюминатных цементов, обеспечивающие расширение затворенного материала в процессе гидратации. «Плаги» весьма схожи в отечественной практике с тампонажными составами. За счет большого расширения и практического отсутствия последующей усадки наиболее эффективны «плаги», которые обеспечивают весьма высокое сцепление с боковыми поверхностями ремонтируемых зон. Они выдерживают гидростатический напор до 6 атм.

Химические добавки входят в состав «плагов», что обеспечивает надежное уплотнение ремонтного участка, а также структуры прилегающего к нему бетона. Полимерцементные составы (плаги-заплаты) поставляются в виде сухих смесей. По технологическим свойствам и по характеристикам после затвердения номенклатура таких смесей весьма широка. «Патчи» являются быстротвердеющими, с высокой конечной прочностью. Для них характерна высокая адгезия к старому бетону. Дополнительным адгезионным мостиком служит праймер (обычно эпоксидный или акриловый), который наносят

перед их укладкой на поверхность старого бетона. Этот способ достаточно эффективен, но требует определенных навыков и правильной разделки мест протечек. Гарантированный результат возможен лишь при полном соблюдении технологии производства работ, а также при использовании качественного гидроизоляционного материала.

Закачивание в конструктив бетона (через инъекционные пакеры под большим давлением) специальных составов, которые заполняют и закупоривают все полости, пустоты, трещины и швы (вплоть до связывания грунтов за оболочкой конструкции в местах его разрушения), является сущностью метода инъектирования. Такая технология практически единственная, которая позволяет произвести гидроизоляцию конструкций, подвергающихся постоянным подвижкам (компенсационные швы) или вибрации, а также в ситуациях, когда заливка бетона производилась с грубыми нарушениями технологии, в результате чего в нем имеются пустоты и рыхлости. Новые материалы для инъектирования в трещины малого раскрытия (0,1...0,2 мм) — водорастворимые эпоксидные смолы низкой вязкости — весьма интересны. Их можно инъектировать во влажные трещины, восстанавливая монолитность конструкций и предотвращая фильтрацию воды через них. А гидроактивные полиуретаны при контакте с влагой образуют пены с замкнутыми порами, что позволяет при инъектировании таких составов локализовать протечки в труднодоступных зонах. Эпоксидные композиции являются новинкой среди материалов такого типа, тем более что их можно наносить на поверхность конструкций под водой.

Только наличие специального оборудования и подготовленных специалистов может обеспечить производство работ методом инъектирования. Для закачки состав в тело бетона бурятся шурфы на расчетную глубину, устанавливаются инъекционные пакеры, и через шланги высокого давления насосом подается специальный состав. Если он выполнен на основе гидроактивных полиуретанов, то при контакте с водой вспенивается и увеличивается в объеме более чем в шесть раз (при этом проявляется высокая адгезия), связывая все рыхлости и заполняя все полости и трещины, что способствует его сохранению почти на неограниченный период времени, при этом он не будет разрушаться под воздействием агрессивных сред. Высокая эластичность пены позволяет ей не разрушаться от вибрации и выдерживать значительные смещения конструкций. Чтобы инъектируемый состав распространялся в теле бетона и не выходил наружу через трещины и поры, инъектирование применяется в основном вместе с методом гидроизоляции цементными материалами [12—18].

Еще одним видом гидроизоляции является защита строительных конструкций при давлении воды на бетон за счет нанесения на поверхность защитного слоя, не разрушающегося с течением времени и не имеющего слабых соединений, обладающего высокой эластичностью и ремонтпригодностью.

Мастичная гидроизоляция на сегодняшний момент получает все более широкое распространение. Мастичная гидроизоляция по своей функциональной сути представляет собой полимерные мембраны, формируемые непосредственно на изолируемой поверхности. При нанесении на бетонное основание жидковязких систем, которые, отверждаясь на воздухе, образуют сплошную эластичную пленку, получают такие покрытия.

Однокомпонентная мастика на растворителях уже готова к употреблению. При двухкомпонентном составе мастики она поставляется в виде двух химически малоактивных составов, которые порознь могут храниться 12 мес. и более. Битумно-полимерные или полимерные, мастичные системы могут применяться при всех видах гидроизоляции.

С помощью кистей или механическим способом система наносится на поверхность. Возможно армирование системы одним или двумя слоями стеклотканей для придания дополнительной прочности. Основное преимущество этого покрытия заключается в создании сплошного высокоэластичного гидроизоляционного ковра без слабых соединений, имеющего высокую адгезию к поверхности, которая в три раза больше, чем у битума. Многие полимерные пленочные материалы, например на основе полиэтилена высокого и среднего давления, обладают низкой паропрооницаемостью (пароизоляцией). Низкая способность пропускать пары влаги (паропрооницаемость) является определяющей характеристикой свойств этих материалов. Свойства пароизоляции некоторых видов пенопластов и их синтетической пористой теплоизоляции (вспененный полиэтилен, каучук) позволяют комплексно решать проблему тепло- и пароизоляции.

Высокодисперсные породы с содержанием монтмориллонита не менее 60 % представляют собой бентониты, которые после укладки в сухом состоянии, после воздействия воды, разбухают и становятся водонепроницаемой, но паропрооницаемой защитой. В другие гидроизоляционные материалы (термопластичные и резинобитумные) добавляются бентонитовые производные. Такие материалы выпускаются и применяются в виде порошка, который наносится распылением, плиты на картонной основе, а также рулонов на различной основе и листов из бентонита и каучука, тканевых матов.

При гидрозащите вертикальных и горизонтальных поверхностей, как при положительном, так и отрицательном напоре, используют в основном способ защиты поверхностной изоляцией на основе порошковых систем. Создаваемый защитный слой на поверхности соединяется в единый монолит с материалом основания. Предполагается, что поверхностная обработка обеспечивает проникновение на небольшую глубину защитных композиций в материал основания, при возникновении когезионных и химических связей в поверхностном слое.

К этим материалам относят сухие строительные смеси гидрозащитного и бронирующего действия. Смеси формируют ремонтные заплатки («плаги»), а химические сухие вещества (присадки, добавки) повышают адгезию и улучшают гидрозащитные свойства покрытия [19, 20].

В качестве вяжущих в сухих строительных смесях применяют стандартный портландцемент и полимерные составляющие. Для них характерны повышенная плотность, водонепроницаемость и трещиностойкость. В некоторых строительных смесях используется известь, регулирующая сроки схватывания. Наличие второго связующего — полимерного — является особенностью современных сухих строительных смесей. Полимерный компонент вяжущего обеспечивает достаточную адгезию смеси к поверхности строительного материала, что повышает пластичность и удобоукладываемость смеси и эластичность затвердевшего материала, снижает его пористость, водопоглощение, увеличивает морозостойкость.

Наполнителями являются тонкодисперсные или тонкомолотые вещества: песок, тальк, глины, мрамор. Дисперсное армирование, которое предотвращает растрескивание наносимого на основу тонким слоем материала и повышает его прочность при растяжении и сопротивлении удару, играет особую роль.

В сухих смесях используют как органические, так и минеральные волокна природного и искусственного происхождения. Вводятся также в смеси добавки-модификаторы — высокомолекулярные вещества и продукты на их основе. Они должны либо растворяться в воде, либо образовывать при перемешивании с ней устойчивые дисперсии (эмульсии, латексы).

Основные технические характеристики некоторых мастик и покрытий приведены в табл. 1—3.

Придание поверхности водоотталкивающих свойств и есть суть защиты строительных конструкций от атмосферных воздействий. Эффективно дополнять друг друга в конструкциях подземных частей здания, кровли, стен, пола, перекрытий могут сочетания различных видов гидроизоляции. Совмещающие тепло- и гидроизоляцию плиты из экструзионного пенополистирола, дренирование грунта с использованием геосинтетиков, защита периметра подземного этажа комбинированием дренирующих пенополистирольных плит с теплоизоляционными, модификации свойств конструкций и грунта различными добавками в сочетании с теплоизолирующими покрытиями являются широко используемыми конструктивными решениями. Паро- и гидроизоляция вентилируемых кровель защищает теплоизоляционный слой как от попадания дождевой влаги, так и от возникновения конденсата в стенах [21—26]. Только использование всех вышеприведенных методов в сочетании с комплексными мероприятиями приведет к решению проблемы защиты бетона от воды.

Т а б л и ц а 1

Основные технические характеристики покрытия «Гидрофор»

Параметр	Характеристика
Прочность при разрыве, МПа, не менее	1,0
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	150
Прочность сцепления с бетоном при отрыве, МПа, не менее	0,75
Водонепроницаемость при защите бетона (давление воды со стороны покрытия), МПа, не менее	1,0
Температура стеклования, °С	–75
Набухание в воде в течение 30 сут при 25 °С, %, не более	0,5

Т а б л и ц а 2

Основные технические характеристики покрытия «Термокор»

Параметр	Характеристика
Условная прочность при разрыве, МПа	7...9
Относительное удлинение при разрыве, %	100...200
Адгезия с бетоном, МПа	0,6...1,0
Удельное сопротивление	$5 \cdot 10^{13}$
Теплостойкость, °С	150

Таблица 3

Основные технические характеристики мастик и покрытий

Показатели	Гидрофор	Битурэл	Гермокров-1	Гермокров-2	Полур-2	Полур-3	Полур-5
Жизнеспособность (после смешивания компонентов), ч, не менее	0,5-40	5	1,5	2	2	2	1,5
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	150	500	450	250	200	150	300
Гибкость на брусе с радиусом 5 мм, °С	-50	-50	-50	-50	-60	-60	-60
Условная прочность, МПа, не менее	0,4	1	0,6	1	3,5	10	4
Теплостойкость в течение 5 ч, °С	70	120	100	100	120	120	120
Прочность сцепления, МПа, не менее: с бетоном с металлом	0,75 0,75	0,5 0,5	0,6 —	1 —	0,9 —	0,75 —	1 —
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом · см	Не менее $1 \cdot 10^{13}$	Не менее $3 \cdot 10^{11}$	Не более $5 \cdot 10^{13}$	Не более $5 \cdot 10^{13}$	В пределах $3 \cdot 10^{13} \dots 5 \cdot 10^{13}$		
Водопоглощение за 24 ч, %, не более	0,7	1,5	2	2	2	2	1,5
Истираемость, мкм, не более	—	—	10	10	50	20	70
Химическая стойкость (снижение механических показателей), %	10	10	10	10	15	15	15

Сочетание качества и цены применяемых материалов требует особого внимания. Зарубежные материалы на момент использования теряют свой срок годности, многие материалы изготавливаются в ближнем зарубежье, где качество материалов ниже, но все равно остается достаточно высокими.

Отечественные гидроизоляционные материалы (как совместного производства, так и собственные разработки) имеют нестабильное качество при удовлетворительных рабочих параметрах. В будущем они создадут серьезную конкуренцию импортным аналогам, что будет способствовать расширению применения современных гидроизоляционных материалов.

Современной тенденцией является создание не универсальных изоляционных материалов, а материалов, совместимых в единой конструкции.

Таким образом, современные способы защиты строительных изделий и конструкций от воздействия воды и атмосферного воздействия неразрывно связаны с разработкой и внедрением высокоэффективных гидроизоляционных материалов на минеральной и полимерной основе, которые обеспечивают не только защиту, но и восстановление строительных конструкций до рабочего состояния. Сочетание различных видов гидроизоляции дает возможность эффективно их использовать в конструкциях различных частей здания, кровли, стен, пола, перекрытий. В комплексе мероприятий по надежной защите от разрушений строительных материалов при протекании коррозионных процессов особое место отводится использованию высококачественных химически стойких материалов в строительстве. Гидроизоляционным материалам на полимерной основе строители отдают предпочтение, они могут использоваться для всех видов гидроизоляционных работ. Эпоксидные краски, тиоколовые герметики, полиэфирные стеклопластики и полиэтиленовые

экраны получили наиболее широкое распространение. Номенклатура полимерной гидроизоляции, как отечественного, так и импортного производства, достаточно широка.

Научно-практический подход при реализации концепции защиты строительных изделий и конструкций от коррозионного разрушения определил, что комплексный системный подход в выборе водо- и химзащиты конструкций требует от проектировщиков и производителей постоянного усовершенствования применяемых материалов. Только широкое использование модификации и направленное регулирование эксплуатационных характеристик эпоксидных смол позволяют создавать эффективные высококачественные материалы на их основе с заранее заданными свойствами. Проблема дефицита и дороговизны исходных материалов для эпоксидных модифицированных гидроизоляционных композиций может решаться путем использования техногенных отходов полимерного и минерального состава. Возможности применения полимерных отходов при их модификации для гидроизоляционных композиций безграничны, как и синтез новых полимерных материалов, и в этом их большая притягательная сила и экономическая целесообразность.

Авторами статьи были разработаны составы полимерных композиций на основе порошкообразного полимерного отхода для внешней гидроизоляции бетонных поверхностей и модификации бетонных составов полимерной добавкой. Полимерный отход, состоящий на 99,5 % из эпоксидной смолы, при его модификации фенолоформальдегидной смолой позволяет получить наполненную двухкомпонентную полимерную систему холодного отверждения (НДПС), которая представляет собой порошкообразный материал, в смеси с растворителем, используемый для гидроизоляции поверхностей строительных изделий и конструкций. Наполнение НДПС дисперсными абразивными частицами и армирование дискретными углеродными волокнами формирует новый комплекс свойств разработанного состава. Повышение коррозионной стойкости изделий с полимерным покрытием сопровождается ростом их прочностных характеристик за счет дополнительного упрочнения поверхностного слоя бетона. Введение в цементные составы НДПС в качестве полимерной добавки способствует снижению его проницаемости, росту морозостойкости, прочности при сжатии и изгибе за счет способности НДПС увеличивать адгезию и сцепление цементного камня с наполнителем, дополнительного микроармирования, что обеспечивает высокую технико-экономическую эффективность и конкурентоспособность разработанных полимерных составов на рынке строительных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломатов В. И., Селяев В. П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. М. : Стройиздат, 2002. 312 с.
2. Оудиан Дж. Основы химии полимеров / Под ред. З. Г. Роговина. М. : Химия, 2006. 326 с.
3. Зубов П. И., Сухорева Л. А. Структура и свойства полимерных покрытий. М. : Химия, 2009. 25 с.
4. Ngog Thanh Tran. Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates // Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 101. No. 1. Pp. 80—90.
5. Соломатов В. И., Бобрышев А. Н., Химмлер К. Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. М. : Стройиздат, 2001. 312 с.
6. Черняк К. И. Эпоксидные компаунды и их применение. Л. : Судостроение, 1985. 400 с.
7. Mohammeda M. K., Al-Hadithi A. I., Mohammed M. H. Production and optimization of eco-efficient self compacting concrete SCC with limestone and PET // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 197. Pp. 734—746.

8. Лосев И. П., Тростянская Е. Б. Химия синтетических полимеров. М. : Химия, 2008. 615 с.
9. Foreman M. R., Vollmer F. Optical tracking of anomalous diffusion kinetics in polymer microspheres // *Physical Review Letters*. 2015. Vol. 114. No. 11. Pp. 257—266.
10. Gadzhiev A. M., Kurbanov R. M., Khadzishalapov G. N. The influence of the filler grain composition on the properties of the heat-resistant basaltic // *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2017. Vol. 44. No. 3. Pp. 146—155.
11. Burkhanova R. A., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. Modified heat-resistant concrete using slag aggregates // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 962. 9 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022015/pdf>.
12. Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурун Т. К. Наполнение эпоксидных полимеров как фактор получения многокомпонентной композиции с улучшенными прочностными свойствами // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2020. Вып. 4(81). С. 151—161.
13. Sun Hongfang, Zishanshan Li, Shazim Ali Memon. Influence of ultrafine 2CaO center dot SiO₂ powder on hydration properties of reactive powder concrete // *Materials*. 2015. Vol. 8. No. 9. Pp. 6195—6207.
14. Skazlic M., Skazlic Z., Majer J. Application of high performance fibre reinforced shotcrete for tunnel primary support // *Proceedings of the 10th International Conference. Shotcrete for Underground Support*, 2012. Pp. 206—214.
15. Shi X. S., Collins E. G., Zhao X. L. Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopolymeric recycled concrete // *Journal of Hazardous Materials*. 2012. Vol. 237. Pp. 20—29.
16. Бурханова Р. А., Акчурун Т. К., Вовко В. В. Модифицированные жаростойкие бетоны с использованием шлаковых заполнителей // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2020. Вып. 3(80). С. 54—63.
17. Sudarsana Rao H., Somashekaraiah H. M., Ghorpade Vaishali G. Strength and workability characteristics of fly ash based glass fibre reinforced high-performance concrete // *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2011. Vol. 3. No. 8. Pp. 6266—6277.
18. Евстафьева Н. Ю., Акчурун Т. К., Стефаненко И. В. Полимерные системы гидроизоляционной и антикоррозионной защиты строительных материалов и конструкций // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2018. Вып. 53(72). С. 43—52.
19. Evstafyeva N. Yu., Stefanenko I. V., Akchurin T. K. Modification of concrete with polymer additives based on secondary resources // *Material Science Forum*. 2020. Vol. 974. Pp. 277—282.
20. Евстафьева Н. Ю., Стефаненко И. В., Акчурун Т. К. Полимерная система для защиты строительных изделий от коррозионных разрушений // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе : сб. науч. тр. по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф. Сарат. гос. техн. ун-та им. Ю. А. Гагарина. Саратов, 2019. С. 194—199.*
21. Spiratos N. Superplasticizers for concrete. Quebec : Fundaments, technology and practice, 2015. 323 p.
22. Рейбман А. И. Защитные лакокрасочные покрытия. М. : Химия, 2002. 615 с.
23. Balakrishna M. N., Mohamad F., Evans R. Durability of concrete with differential concrete mix design // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2020. Vol. 7. No. 4. Pp. 696—701.
24. Al-Hadithi A. I., Hilal N. N. The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers // *Journal of Building Engineering*. 2016. Vol. 8. Pp. 20—28.
25. Журков С. Н., Куксенко В. С., Слуцкер А. И. Микромеханика разрушения полимеров // *Проблемы прочности*. 1971. № 2. С. 45—50.
26. Заиков Г. Е., Моисеев Ю. В. Химическая стойкость полимеров в агрессивных жидких средах // *Пластические массы*. 1972. № 11. С. 24—27.

© Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурун Т. К., Стефаненко И. В., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурун Т. К., Стефаненко И. В. Современные технологии и системы защиты поверхностей от проникновения воды // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 2(87). С. 72—81.

Об авторах:

Бурханова Рената Анверовна — канд. техн. наук, доц. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; renata_vlg@mail.ru

Евстафьева Наталья Юрьевна — инженер лаборатории № 1 каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; n16121976@yandex.ru

Акчурин Талгат Кадимович — канд. техн. наук, проф., зав. 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

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; info@vgasu.ru

Renata A. Burkhanova, Natal'ya Yu. Evstaf'eva, Talgat K. Akchurin, Igor' V. Stefanenko

Volgograd State Technical University

MODERN TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR SURFACE PROTECTION AGAINST WATER PENETRATION

The article analyzes the traditional methods of protecting concrete from moisture and the technology for their implementation. The characteristics of several types of protection systems for concrete structures are given: protection of concrete structures from water penetration with cement-based waterproofing materials, protection under water pressure on it, protection of the concrete surface from atmospheric influences, restoration of reinforced concrete structures to working condition, protection of the surface from biological destruction bacteria, fungi and mold. The principle of operation of penetrating materials is described. Modern technologies for the protection of building materials and structures are considered, such as the method of protection against capillary penetration of water, the method of protection against active penetration of water through seams, cracks and loose concrete; method of injection of hydroactive polyurethanes into the concrete structure to fill voids and cracks. Thus, the widespread use of modification and directed regulation of the operational characteristics of epoxy resins make it possible to create effective high-quality materials based on them with predetermined properties.

Key words: concrete protection methods, waterproofing materials, modified concrete, structure, modern technologies.

For citation:

Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. [Modern technologies and systems for surface protection against water penetration]. *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], 2022, iss. 2, pp. 72—81.

About authors:

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

Natal'ya Yu. Evstaf'eva — Engineer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; n16121976@yandex.ru

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

Igor' V. Stefanenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

УДК 666.96:669-027.33

Е. Е. Гнедаш, И. В. Стефаненко, Т. К. Акчурин

Волгоградский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Наличие теплоограждающих конструкций в различных отраслях промышленности подразумевает использование в них жаростойкого бетона, который может контактировать с агрессивными средами, противостоять воздействию механических нагрузок в виде истирания, работы на сжатие и изгиб, ударным нагрузкам, периодичности воздействия переменных температур. Такие сложные условия работы должны быть обеспечены прочностью и долговечностью жаростойкого бетона, которые обуславливаются наличием плотной упаковки зерен заполнителя и труднопроницаемой структурой цементного камня. Важным фактором формирования структуры жаростойкого бетона является внешнее механическое воздействие (вибрирование), которое позволяет управлять процессами структурообразования многокомпонентной системы при обеспечении качества конструкций из жаростойкого бетона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: жаростойкий бетон, промышленные отходы, механическое воздействие, вибрирование, формирование структуры.

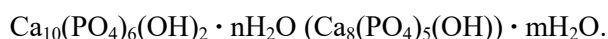
Технологии высокотемпературных процессов металлургической отрасли, нефтехимии, машиностроения, строительной отрасли, где технологические циклы производства связаны с ростом рабочих температур и давлений, ростом тепловых нагрузок, неразрывно связаны с применением жаростойких бетонов в строительных конструкциях. Причем должна быть обеспечена работоспособность строительных конструкций из жаростойкого бетона на весь период эксплуатации при сохранении и отсутствии снижения их теплофизических и термомеханических свойств [1—3].

Технологии производства жаростойких композиций с заданными технологическими свойствами на сегодняшний день подразумевают использование не только традиционных вяжущих веществ, природных заполнителей, но и техногенных отходов. Актуальность такого подхода при производстве строительных материалов заключается в многокомпонентности жаростойких безобжиговых композиций, что, в свою очередь, позволяет решать экономические проблемы строительной отрасли, вопросы экологии регионов [4—6].

Проводимые в работе исследования по созданию высокотемпературной матрицы за счет модификации портландцементного связующего однозамещенным ортофосфатом кальция и введению в состав многокомпонентной жаростойкой композиции побочных и сопутствующих продуктов производства карбида кремния и абразивного инструмента на керамической связке актуальны как с технологической, так и с экономической точки зрения [2, 5—9]. И в этой связи разработка теоретических подходов в выявлении взаимосвязи между эксплуатационными свойствами жаростойкого бетона и его составом, объемным содержанием компонентов смеси нуждается в установлении и расширении существующих теоретических подходов в вопросах управления процессами структурообразования многокомпонентной системы при обеспечении высокого качества конструкций из жаростойкого бетона.

Применение синергетического подхода в вопросах управления процессами структурообразования многокомпонентной жаростойкой композиции позволяет воспринимать жаростойкий бетон как материальный объект производственного происхождения и исследовать его как целостную саморегулирующуюся неравновесную систему. Это позволяет выявить взаимосвязь между ростом физико-термических свойств жаростойкой композиции и состоянием ее основных структурных элементов, где участие каждого компонента смеси оказывает свое индивидуальное влияние на формирование структуры системы и проявление ее новых свойств. И в этой связи одним из главных факторов формирования структуры цементного камня, обеспечивающих прочность и долговечность материала из жаростойкого бетона, является плотная упаковка частиц заполнителя и наполнителя в бетоне. Формирование плотно упакованного каркаса бетона достигается прерывистой гранулометрией заполнителей и внешними механическими воздействиями, вибрированием, которое обеспечивает заданные технические требования строительному материалу из жаростойкого бетона.

Следует отметить, что в монолитном варианте конструкции и футеровки из жаростойкого бетона рекомендуется выполнять на различных вяжущих материалах, кроме введения ортофосфорной кислоты. И в этой связи в проводимом исследовании повышение жаростойких свойств портландцементного связующего предлагается решить введением в состав жаростойкой композиции однозамещенного ортофосфата кальция для образования на поверхности частиц CaO плотного и прочного слоя водонерастворимого гидроксидапатита состава [4—6, 10, 11]:



Причем жаростойкий бетон мелкозернистой структуры привлекает особое внимание производителей огнеупорной продукции за счет улучшенной удобоукладываемости и формуемости изделий, что немаловажно при изготовлении тонкостенных и густоармированных конструкций за счет высокой сопротивляемости растягивающим напряжениям. Подбор прерывистой гранулометрии заполнителей бетонной композиции позволяет устранить недостатки мелкозернистой структуры бетона (повышенная водопотребность, значительный расход цемента), приводящие к увеличению усадки бетона, снижению трещиностойкости [12—16]. Введение в состав бетона минеральных наполнителей традиционно рассматривалось в технологиях бетона как фактор предотвращения перерасхода цемента. Минимизация расхода цементного вяжущего в проводимом исследовании достигалась оптимизацией гранулометрического состава жаростойкой композиции с использованием высокотемпературных наполнителей. При проектировании оптимальной гранулометрии состава жаростойких бетонов зерновой состав подбирался исходя из максимальной плотности упаковки зерен заполнителей различного диаметра.

Для заполнения пустоты, образованной зернами большого диаметра, зернами меньшего диаметра в жаростойких бетонах используют зерна с дискретным гранулометрическим составом. Уменьшение межзернового расстояния в жестком каркасе из высокотемпературного наполнителя и кварцевого песка позволяет достичь тонкой прослойки цементного теста в композиции (рис. 1). Оптимальная толщина прослойки цементного теста, необходимая для склеивания зерен наполнителя и заполнителя, составляет $13 \cdot 10^{-6}$ м [12—15, 17, 18].

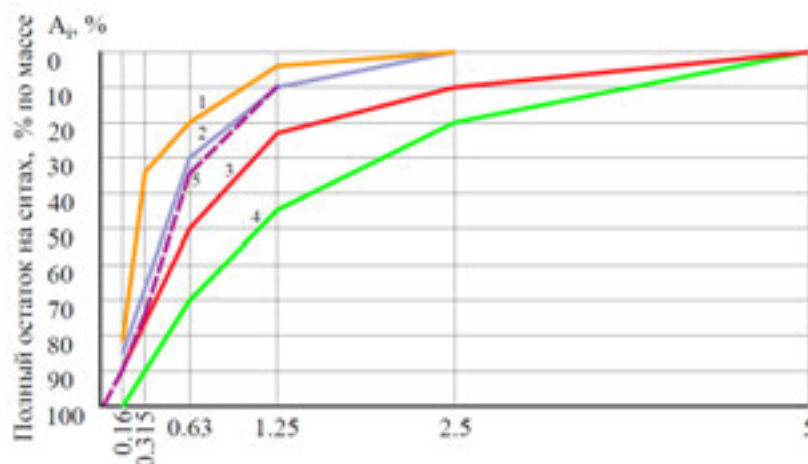


Рис. 1. График зернового состава заполнителя: 1 — нижняя граница крупности песка (модуль крупности 1,5); 2 — граница крупности песка (модуль крупности 2,0) для бетонов класса В15 и выше; 3 — граница крупности песка (модуль крупности 2,5) для бетонов класса В25 и выше; 4 — верхняя граница крупности песков (модуль крупности 3,25); 5 — крупность фракции отходов абразивного инструмента (модуль крупности 2,1)

Анализ методик расчета оптимального гранулометрического состава заполнителей жаростойкой композиции выявил способ улучшения соотношения компонентов смеси. Это использование формулы «идеальной» кривой просеивания на основе формул Функа — Дингера с учетом Фуллера для получения более плотной структуры бетонной смеси [12—14]. Теоретический расчет соотношения компонентов заполнителя в смеси позволил достичь максимальной прочности при сжатии образцов жаростойкой композиции с заполнителями и наполнителями прерывистой гранулометрии, равной 38,7 МПа, средняя плотность равна 2458 кг/м³, термическая стойкость (вода, 800 °С) составила 16 теплосмен. Математическая модель описывает исследуемую систему упаковки зернового материала в составе жаростойкой композиции посредством выявления факторов формирования структуры бетона. Наибольшее влияние на рост прочности при сжатии и средней плотности оказывает соотношение отходов абразивного инструмента и карбида кремния, равное двум [5, 6, 12, 19, 20].

Использование жаростойкого бетона в теплоограждающих конструкциях, контактирующих с различными агрессивными средами, подразумевает и воздействие механических нагрузок в виде истирания, работу на сжатие и изгиб, ударные нагрузки, с периодичностью переменных температурных воздействий. Такие сложные условия работы бетона предполагают наличие плотной упаковки и труднопроницаемой структуры цементного камня, что является основой его прочности и долговечности [16]. И в этой связи внешнее механическое воздействие (вибрирование) оказывается важным фактором формирования структуры мелкозернистого жаростойкого бетона, процессов его уплотнения, позволяющим переходить в плотную упаковку под влиянием колебательных движений и нагрузки. Вибрация позволяет достигать максимального уплотнения сыпучих сред (заполнители бетона) независимо от состояния среды (сухая или насыщенная водой) [21].

Современная точка зрения на процессы формирования структуры, проходящие в бетонной смеси при вибрировании, рассматривает механическое уплотнение в концепции гомогенизации бетонной смеси в целом, которое оказывает влияние на физико-химические процессы формирования структуры смеси. Поэтому, основываясь на теоретических подходах процессов вибрирования, можно утверждать, что процесс вибрирования — это не только упаковка зерен заполнителя прерывистой гранулометрии в бетонной смеси на уровне кинетических процессов: главным является механизм формирования плотной коагуляционной структуры цементного геля. Плотная упаковка смеси зерен заполнителя создается на стадии формирования смеси. Уплотнение цементного геля в гомогенной бетонной смеси возникает под действием собственной массы и изменяющейся нагрузки. И в этой связи упруго-пластично-вязкая составляющая смеси оказывает основное влияние на изменение геологических свойств бетонной смеси при вибровоздействии. Поличастотное вибрирование заключается в одновременном приложении различных частот колебания, каждое из которых отвечает за воздействие на соответствующую фракцию заполнителя [21].

Уплотнение вибрированием разработанного состава жаростойкой композиции производили на лабораторной установке при экспериментально подобранных частотах колебания (верхнее 12 600 кол./мин, нижнее 3000 кол./мин под пригрузом 10 кПа), время механического воздействия варьировалось от 10 до 30 с. Выбранная двухчастотная вибрация наиболее эффективна. Жаростойкой композиции придается заданная форма и компактная упаковка зерен кварцевого песка и зерен отходов абразивного инструмента, наполнителя (циклонная пыль карбида кремния), другая частота колебаний уплотняет цементный гель, разжижая его (рис. 2).

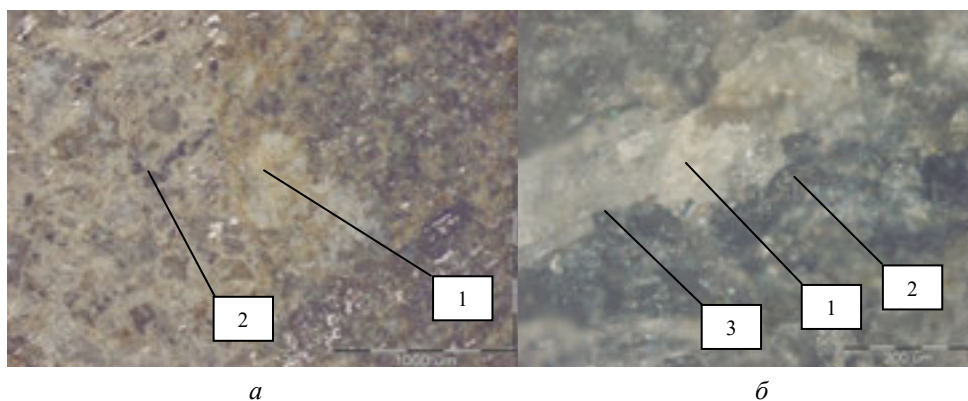


Рис. 2. Изображение структуры мелкозернистого жаростойкого бетона после вибрационного воздействия при разных кратностях увеличения, поверхность среза образца шлифованная: 1 — заполнитель; 2 — наполнитель; 3 — зона контакта

Исследования структуры жаростойкой композиции после вибрационного воздействия проводились методами оптической микроскопии, которая является источником информации о внутреннем строении бетона [22—24]. Расстояние между зернами заполнителя соизмеримо с размером частиц заполнителя (см. рис. 2), наблюдается сдвиг структурных кластеров в единичной матричной фазе в результате вибрационного воздействия, присутствует

перемещение наполнителя циклонной пыли карбида кремния (рис. 2, б). Толщина цементной пленки вокруг частиц наполнителя и заполнителя минимальна за счет обдира во время виброколебаний.

На рис. 3 представлено изображение структуры мелкозернистого жаростойкого бетона при виброуплотнении образцов до и после термического воздействия.

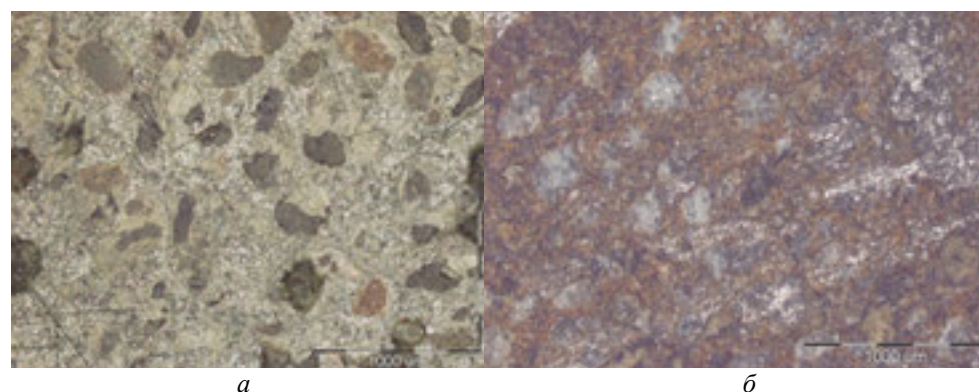


Рис. 3. Изображение структуры мелкозернистого жаростойкого бетона при виброуплотнении образцов: *а* — до термического воздействия; *б* — после термического воздействия (воздух, 800 °С), поверхность образцов шлифованная

Структура образцов жаростойкой композиции до и после термического воздействия представлена дисперсно-упрочненной формой. Отчетливо наблюдается равномерное распределение смеси наполнителей карбида кремния (наполнитель), отходов абразивного инструмента и кварцевого песка (заполнителей) после вибрационного воздействия, которое не нарушилось в результате термического воздействия. Равномерный характер распределения заполнителя и наполнителя, плотные структуры цементного камня говорят о наличии реакционных связей между компонентами дисперсной системы жаростойкого бетона и цементной матрицей, модифицированной однозамещенным ортофосфатом кальция. Адгезия частиц заполнителей к цементной матрице проявляется в постоянстве их внешнего вида (см. рис. 3). Колебательная энергия двухчастотного виброуплотнения расходуется на создание компактной упаковки в пространстве цементного камня, перегруппировку зерен высокотемпературного заполнителя и наполнителя, что придает жаростойкой бетонной смеси заданную форму. Зарождается устойчивая структура цементного камня жаростойкой композиции с высокотемпературным заполнителем, где самоорганизация процессов структурообразования возрастает за счет виброуплотнения [21]. Величина прироста прочностных характеристик жаростойкого бетона за счет механического воздействия возрастает в среднем на 10...15 %.

Таким образом, факторы формирования структуры разработанного состава жаростойкой композиции с высокотемпературным наполнителем на основе отходов производства могут быть дополнены методами двухчастотного виброуплотнения. Уплотнение бетона механическими способами способствует дополнительной самоорганизации процессов структурообразования в цементном камне, что, в свою очередь приводит к росту прочностных характеристик жаростойкой композиции, стойкости к температурным воздействиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю. М. Технология бетона : учеб. М. : АСВ, 2011. 528 с.
2. Гнедаш Е. Е., Стефаненко И. В., Акчурина Т. К. Структурообразующие факторы формирования жаростойких композиций на основе вторичных ресурсов региона // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 153—163.
3. Kudža A., Antonović V., Stonys R., Ška J. The investigation of properties of insulating refractory concrete with portland cement binder // 2nd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies. Series: Materials Science and Engineering. 2015. No. 96. DOI: 10.1088/1757-899X/96/1/012015.
4. Тарасов Р. В., Макарова Л. В., Калинина В. А. Анализ состояния производства жаростойких композиционных материалов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 2. Ч. 1. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46518>.
5. Гнедаш Е. Е., Акчурина Т. К., Стефаненко И. В. Состояние и перспективы развития технологий жаростойких композиционных материалов // Изв. ВолгГТУ. Сер. : Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. 2018. № 9(219). С. 56—61.
6. Гнедаш Е. Е., Акчурина Т. К. Пути совершенствования жаростойких композиций с позиции ресурсосберегающих технологий // Metallurgy and Mineral Processing. Journal of Advances in Engineering Technology. 2021. Vol. 1. No. 3. Pp. 10—14. DOI: 10.24412/2181-1431-2021-1-10-14.
7. Hlystov A. I., Shirokov V. A., Vlasov A. V. Efficiency improvement of heat-resistant concrete through the use of sludge technogenic raw material // Procedia Engineering. 2015. Vol. 111. Pp. 290—296. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.091.
8. Prud'homme E., Joussein E., Rossignol S. Use of silicon carbide sludge to form porous alkali-activated materials for insulating application // European physical journal-special topics. 2015. Vol. 224. Iss. 9. Pp. 1725—1735. DOI: 10.1140/epjst/e2015-02494-7.
9. Shamsad A., Sallam Y. S., Al-Hawas M. A. Effects of key factors on compressive and tensile strengths of concrete exposed to elevated temperatures // Arabian journal for science and engineering. 2014. Vol. 39. Iss. 6. Pp. 4507—4513. DOI: 10.1007/s13369-014-1166-8.
10. Батрашов В. М., Пак Ч. Г. Разработка и исследование высокотемпературной матрицы для жаростойкого поризованного материала // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Техн. науки. 2012. № 4(24). С. 112—119.
11. Абызов В. А., Пак Ч. Г., Батрашов В. М. Ячеистые жаростойкие бетоны на фосфатном вяжущем и заполнителях из кремнеграфитовых и алюмохромсодержащих промышленных отходов // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 11/12. С. 27—29.
12. Стефаненко И. В., Гнедаш Е. Е., Акчурина Т. К. Оптимизация гранулометрического состава заполнителей жаростойкого бетона мелкозернистой структуры // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 205—213.
13. Белов В. В., Петропавловская В. Б., Новиченкова Т. Б., Бурьянов А. Ф. Закономерности влияния зернового состава на свойства сырьевых смесей пресованных гипсовых материалов // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 4—5.
14. Статюха Г. А., Телицына Н. Е., Суруп И. В. Оптимизация гранулометрического состава наполнителей для сухих строительных смесей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2007. № 5/3(29). С. 23—26.
15. Минсадров И. Н. Особенности упаковки частиц заполнителей в мелкозернистых бетонах при создании долговечных материалов // Тр. IX науч.-практ. конф. «Безопасность движения поездов». М., 2008. С. 4—9.
16. Investigation of their ally induced processes in corundu refractory concretes with addition of fly ash / A. Terzic, N. Obradovic, J. Stojanovic, V. Pavlovic, L. Andric // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2015. Vol. 119. Pp. 1339—1352.
17. Акчурина Т. К., Пушкарьская О. Ю. Использование местных нетрадиционных вторичных ресурсов в технологиях строительных композитов : моногр. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 216 с.
18. Тухарели В. Д., Гнедаш Е. Е., Тухарели А. В. Heat-resistant composite materials based on secondary material resources // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing. 5th International Conference on Industrial Engineering (5th ICIE 2019), March 25—29, 2019, Sochi, Russian Federation / Ed. A. A. Radionov. Trans Tech Publications. Scientific.Net, 2020. Pp. 287—292. URL: <https://www.scientific.net/SSP.299/book>.

19. Стефаненко И. В., Гнедаш Е. Е., Акчури Т. К. Methodological approaches to optimization of grain composition of heat-resistant concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 687. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019), Sept. 25—27, 2019, Chelyabinsk, Russian Federation. Iss. 2. Building materials and products / Eds. A. A. Radionov, D. V. Ulrikh. Publ. by IOP Publishing, 2019. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/2/022004/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/687/2/022004.
20. Experimental analysis of SiC-based refractory concrete in hybrid rocket nozzles / R. D'Elia et al. // Acta astronautica. 2016. Vol. 126. SI. Pp. 168—177. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.04.034>.
21. Батыновский Э. И., Бондарович А. И. Вибропрессованный бетон: технология и свойства. Минск: БНТУ, 2018. 263 с.
22. Кузнецова Т. В., Самченко С. В. Микроскопия материалов цементного производства. М.: МИКХиС, 2007. 304 с.
23. Ductan V., Mladenovic A. The potential use of steel slag in refractory concrete // Materials Characterization. 2011. No. 7. Pp. 716—723.
24. Jocius V., Skripkiūnas G., Gediminas V. The mechanism of disintegration of cement concrete at high temperatures // Construction Science. 2016. Vol. 18. Pp. 4—9. DOI: 10.1515/cons-2016-0001.

© Гнедаш Е. Е., Стефаненко И. В., Акчури Т. К., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Гнедаш Е. Е., Стефаненко И. В., Акчури Т. К. Влияние механического воздействия на процессы формирования структуры жаростойкого бетона с высокотемпературным наполнителем // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 82—89.

Об авторах:

Гнедаш Евгений Евгеньевич — доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, проф., зав. каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

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

Evgenii E. Gnedash, Igor' V. Stefanenko, Talgat K. Akchurin

Volgograd State Technical University

THE INFLUENCE OF MECHANICAL ACTION ON THE PROCESSES OF FORMATION OF THE STRUCTURE OF HEAT-RESISTANT CONCRETE WITH HIGH-TEMPERATURE FILLER

The presence of heat-shielding structures in various industries implies the use of heat-resistant concrete in them, which can be in contact with aggressive environments, withstand the effects of mechanical loads in the form of abrasion, compressive and bending work, shock loads, and the frequency of exposure to variable temperature. Such difficult working conditions must be ensured by the strength and durability of heat-resistant concrete, which are determined by the presence of a dense packing of aggregate grains and a difficultly permeable structure of cement stone. An important factor

in the formation of the structure of heat-resistant concrete is an external mechanical action (vibration), which allows you to control the processes of structure formation of a multicomponent system while ensuring the quality of structures made of heat-resistant concrete.

Key words: refractory concrete, industrial waste, mechanical impact, vibration, structure formation.

For citation:

Gnedash E. E., Stefanenko I. V., Akchurin T. K. [The influence of mechanical action on the processes of formation of the structure of heat-resistant concrete with high-temperature filler]. *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], 2022, iss. 2, pp. 82—89.

About authors:

Evgenii E. Gnedash — Docent of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Igor' V. Stefanenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

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

УДК 004.9+620.9

А. М. Сорокин

Волгоградский государственный технический университет

МОНИТОРИНГ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Надежность работы тепловых сетей чрезвычайно важна для системы теплоснабжения в целом, кардинальным образом влияя на планируемые мероприятия по развитию источников теплоснабжения и тепловых сетей. Она достигается резервированием, секционированием, своевременной реконструкцией участков тепловых сетей, техническим обслуживанием. Как правило, количество имеющихся перемычек не всегда достаточно, а взаиморезервирование источников тепла зачастую невозможно по пропускной способности теплопроводов. Временно формируемые системы теплоснабжения работают в неэффективных режимах с повышенными расходами топлива и экологической нагрузкой на окружающую среду, поэтому важную роль в обеспечении надежности систем теплоснабжения играют: профилактические работы, мониторинг (для тепловых сетей — их диагностика), своевременное и качественное проведение режимно-наладочных мероприятий. Однако для достижения системного эффекта также необходим эффективный менеджмент и система контроля качества эксплуатации и производства работ (проектирование, строительство, сопровождение эксплуатации и ремонт) на всех этапах жизненного цикла.

Ключевые слова: надежность, тепловые сети, тепловые потери, система теплоснабжения, многоуровневое моделирование, управление режимами, показатель режимной управляемости, мониторинг, методика, алгоритм, расчет, информационно-вычислительный комплекс.

Введение

В современных условиях надежность, качество и эффективность теплоснабжения имеют высокую значимость. Однако основная проблема состоит в том, что есть ряд существенных недостатков в научно-методическом обосновании необходимых средств и подходов для решения актуальных задач эксплуатации и развития систем теплоснабжения.

В предлагаемой статье рассматриваются механизмы, способствующие созданию базы, для регулирования отношений в соответствии с действующей нормативно-правовой базой [1—18] между вовлеченными в процесс теплоснабжения хозяйствующими субъектами для повышения общей эффективности системы централизованного теплоснабжения Волгограда.

На долю России приходится более 40 % мирового централизованного производства тепловой энергии, а на цели теплоснабжения здесь расходуется более 35 % всего ее потребления. При этом потери в тепловых сетях составляют порядка 20...50 % от полезного потребления тепла, что в несколько раз превышает потери, например, в Финляндии со схожими климатическими условиями [19]. Средняя частота отказов трубопроводов (аварийность) находится на грани приемлемого уровня, который в 5...10 раз превышает значения аналогичного показателя для европейских систем централизованного теплоснабжения. При этом фактически отсутствуют системы мониторинга, позволяющие непрерывно оценивать и отслеживать фактическое состояние тепловых сетей, а современные цифровые технологии потенциально позволяют создавать и применять такие системы.

Существующая система теплоснабжения Волгограда на 85 % по протяженности и 89 % по материальной составляющей проложена до 1990 г. включительно, вследствие чего износ трубопроводов составляет более 80 % на фоне высоких потерь тепловой энергии при неудовлетворительном состоянии теплоизоляции. Практика последних лет показала, что имеются существенные риски, связанные с нестабильным обеспечением теплоснабжения жилого сектора и социальных объектов городской инфраструктуры. Протяженность трубопроводов от источника тепловой энергии до самого дальнего потребителя составляет несколько километров, разность в геодезических отметках создает дополнительные сложности с поддержанием расчетных гидравлических режимов в зоне действия котельных.

Волгоград не имеет единой системы теплоснабжения. Источники теплоснабжения работают локально на свои тепловые районы. От котельных осуществляется центральное качественное регулирование отпуска тепла в тепловые сети. Графики изменения температур теплоносителя определены при проектировании и строительстве систем теплоснабжения. Изменение температуры теплоносителя производится посредством изменения количества подаваемого на горение топлива (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент адресного плана

Подключение потребителей к тепловым сетям следующее:

- при температуре в прямом трубопроводе выше 95°C — зависимая схема отопления, как правило, с применением элеваторов;
- при температуре в прямом трубопроводе 95°C — непосредственное присоединение систем отопления к тепловой сети.

Почти все потребители подключены по закрытой схеме горячего водоснабжения, но часть потребителей в зоне ТЭЦ-2 подключена по открытой схеме. Некоторые потребители не имеют циркуляции ГВС. Такое разрегулирование системы теплоснабжения приводит к увеличению расхода теплоносителя, как следствие, к увеличению тепловых потерь и расхода электроэнергии.

На котельных периодически возникают отказы, приводящие к отключениям энергоисточников. Основными причинами являются:

- отключения и перебои (скачки напряжения) по электроснабжению котельных;
- инциденты на тепловых сетях и тепломеханическом оборудовании котельных, приводящие к необходимости остановки котельных.

Результаты

Динамика восстановления работоспособности котельных после отказов нестабильна, время восстановления зависит от степени сложности устранения последствий отказа (табл. 1).

Таблица 1

Статистика отказов и восстановлений оборудования источников котельных

Причина остановки	Количество отказов, шт.				Среднее время устранения, ч			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Прекращение (ограничение) подачи электроэнергии	0	1	2	13	0	5,5	2,2	3,3
Отказ тепломеханического оборудования на котельной	14	22	3	10	3,9	17,2	4,4	3,5
Отказ тепломеханического оборудования на тепловых сетях	1	0	6	8	7,5	0	3,9	5,3
Срабатывание автоматики безопасности котлов	1	1	0	1	5,5	3	2	1
<i>Итого</i>	16	24	11	32	4,2	16,1	3,2	3,8

Развитие системы теплоснабжения осуществляется экстенсивным способом: подключение новых потребителей возможно только при условии проведения переключений участков тепловых сетей с увеличением диаметров, а не за счет улучшения режимов работы системы.

Технический и коммерческий учеты организованы не по всей технологической цепочке производства, передачи, преобразования и потребления (реализации) энергоресурсов, что не позволяет:

- оптимизировать режимы работы основного оборудования и системы теплоснабжения в целом;
- рассчитать фактические потери в тепловых сетях;
- организовать эффективное текущее управление в штатных и аварийных режимах;
- осуществлять обоснованно планирование развития производства;
- составлять энергетические балансы объектов теплоснабжения и системы теплоснабжения в целом.

Не организована единая база данных, отражающая текущее состояние объектов и системы теплоснабжения в целом. Электронные модели систем теплоснабжения не нашли широкого применения в решении практических задач эксплуатации из-за их недостаточного методического обеспечения.

Используемые программные продукты не интегрированы в единую информационно-аналитическую систему и используются разрозненно в отдельных задачах управления производством.

Кроме того, основные проблемы, перечисленные ниже, в системах теплоснабжения города имеют техническую, экономическую и организационную направленность, включая проблемы в работе теплопотребляющих установок потребителей:

1. Одной из основных проблем качества теплоснабжения является проблема качества ГВС. Вторичный контур ГВС системы теплоснабжения после ЦТП сильно изношен. При выходе из строя обратного трубопровода ГВС участок не меняется ввиду отсутствия финансирования мероприятий. При этом подающий трубопровод вторичного контура ГВС также имеет высокую степень износа. Горячее водоснабжение по тупиковой схеме, с учетом неудовлетворительного состояния сети приводит к негативным последствиям для всех участников рынка тепловой энергии:

- потребитель проигрывает в качестве (тупиковая схема ГВС заставляет производить слив воды с низкой температурой перед использованием теплоносителя);
- потребитель не имеет мотивации для установки приборов учета горячей воды (оплата производится за расход, при этом температура после тупиковой схемы зачастую не соответствует установленному нормативу воды для ГВС);
- тупиковая схема ГВС при отсутствии циркуляции приводит к дополнительным потерям тепловой энергии ввиду естественного остывания в трубах.

2. Отсутствие или нарушение изоляции трубопроводов тепловой сети приводят к сверхнормативным потерям, которые являются прямыми убытками теплоснабжающих организаций. Также сверхнормативные потери приводят к ухудшению параметров теплоносителя у конечного потребителя, что приводит к снижению температуры воздуха внутри помещения относительно нормативных величин.

3. По количеству и типу установленного оборудования котельные отвечают условиям надежности, однако ни на одной котельной нет резервного топлива, на некоторых котельных отсутствуют резервные источники электропитания, на всех котельных первой категории, кроме котельной роддома, отсутствуют резервные вводы водопровода холодной воды.

4. Величина потерь по отдельным системам теплоснабжения достигает 30 %, что чрезвычайно много относительно современных высокоэффективных систем теплоснабжения.

5. Неполная оснащенность приборами технического и коммерческого учета тепловой энергии источников и потребителей не позволяет оценивать фактическую выработку тепловой энергии источниками и фактическое потребление тепловой энергии каждым зданием. Последнее приводит к необходимости оплаты счетов на тепловую энергию по нормативам теплопотребления, которые завышены по сравнению с фактическим теплопотреблением. Полное оснащение потребителей приборами учета тепловой энергии позволит производить оплату за фактически потребленную тепловую энергию и осуществлять корректную оценку тепловых потерь в тепловых сетях.

6. Отсутствие регуляторов температуры и регуляторов расхода теплоносителя у потребителей приводит к невозможности обеспечения качественного теплоснабжения потребителей. Идеальным способом регулирования работы систем централизованного теплоснабжения является качественно-количественный способ регулирования: качественный имеет место на источнике теплоснабжения (регулирование осуществляется путем изменения температуры теплоносителя), который дополняется групповым/местным/индивидуальным количественным способом регулирования (регулирование осуществляется путем изменения расхода теплоносителя).

Индикаторы, характеризующие динамику изменения показателей тепловых сетей в системе теплоснабжения Волгограда, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Индикаторы, характеризующие динамику изменения показателей тепловых сетей в системе теплоснабжения Волгограда

Показатель	Обозначение и ед. изм.	Значение показателя для соответствующего года					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Протяженность тепловых сетей, в т. ч.:	$L_{\text{пос}}$, км	н/д	н/д	2243,41	1781,87	1610,07	1622,53
магистральных	$L_{\text{маг}}$, км	н/д	н/д	319,45	292,75	303,79	303,79
распределительных	$L_{\text{расп}}$, км	н/д	н/д	1923,96	1489,13	1306,28	1318,74
Материальная характеристика тепловых сетей, в т. ч.:	$M_{\text{пос}}$, тыс. м ²	н/д	н/д	363,66	319,90	286,57	287,67
магистральных	$M_{\text{маг}}$, тыс. м ²	н/д	н/д	138,74	133,59	128,80	128,80
распределительных	$M_{\text{расп}}$, тыс. м ²	н/д	н/д	224,93	186,31	157,77	158,87
Присоединенная тепловая нагрузка (договорная)	$Q_{\text{пос}}^p$, Гкал/ч	н/д	н/д	2576,25	2576,25	2799,45	2835,37
Потери в тепловых сетях	$\Delta Q_{\text{пос}}$, тыс. Гкал	959,94	1102,12	914,35	1095,65	1005,74	1009,15
Относительная величина потерь в тепловых сетях	$\Delta Q_{\text{пос}}$, %	19,62 %	21,14 %	18,22 %	19,65 %	19,56 %	19,15 %
Количество повреждений (отказов) в тепловых сетях, приводящих к прекращению теплоснабжения потребителей	$\lambda_{\text{пос}}^{\text{те}}$, ед./год	1320	2197	2095	2382	2543	2492
Удельная повреждаемость тепловых сетей	$\lambda_{\text{пос}}^{\text{те}}$, ед./м/год	н/д	н/д	0,93	1,34	1,58	1,54

В настоящее время большинство котельных и ТЭЦ на территории муниципального образования используют в качестве основного вида топлива природный газ. Данный вид топлива является оптимальным с точки зрения эксплуатационных затрат и экономически целесообразным в связи с простотой системы топливоснабжения источников тепловой энергии.

Основная часть крупных тепловых источников города оборудована коммерческими узлами учета, позволяющими вести автоматически инструментальные измерения количества и качества отпускаемой в тепловые сети тепловой энергии.

Выполненный для определения базового спроса на тепловую энергию статистический анализ фактического отпуска тепловой энергии с коллекторов источников централизованного теплоснабжения показал, что фактическая отпускаемая в тепловые сети величина тепловой энергии, пересчитанная на расчетное значение температуры наружного воздуха -22°C , существенно ниже суммы договорных нагрузок потребителей и расчетных значений тепловых потерь (см. табл. 2).

Излишняя степень централизации системы централизованного теплоснабжения в условиях низкой плотности тепловой нагрузки приводит к неконкурентоспособности по сравнению с индивидуальными источниками теплоснабжения и требует коренной реконструкции системы теплоснабжения.

Территориальная распределенность города, удаленность систем теплоснабжения друг от друга не позволяют осуществлять централизованное теплоснабжение потребителей, обеспечивая максимальную загрузку наиболее эффективных источников тепловой энергии. Указанное обстоятельство чрезвычайно важно для схемы теплоснабжения, кардинальным образом влияя на планируемые мероприятия по развитию источников теплоснабжения и тепловых сетей. Принятие в расчет договорных, но реально не достигаемых нагрузок может на порядок увеличить капитальные затраты на мероприятия, которые окажутся невостребованными. Расхождение обусловлено методическими погрешностями при расчете проектных тепловых нагрузок, методическими погрешностями расчета по укрупненным показателям (объемам, площадям отапливаемых зданий).

Значительное количество отключений на тепловых сетях при их разветвленности, инциденты, связанные с отключением и/или перебоями электро-снабжения (рис. 2), возникающие из-за отказа тепломеханического оборудования котельных, вызваны физическим износом теплоэнергетических установок.



Рис. 2. Соотношение инцидентов на тепловых сетях, в разрезе предназначения

Для системного эффекта необходимо грамотное управление (менеджмент), система контроля качества эксплуатации и производства работ

(проектирование, строительство, ремонт) на всех уровнях системы теплоснабжения. Кроме того, важную роль в обеспечении надежности систем теплоснабжения играют:

- профилактические работы;
- мониторинг (для тепловых сетей — диагностика тепловых сетей);
- своевременное и качественное проведение режимно-наладочных мероприятий.

Помимо целей мониторинга процессов управления, информация о текущих управлениях необходима для определения неизмеряемых параметров режима на основе использования математических моделей тепловых сетей (ТС).

В процессе эксплуатации характеристики элементов ТС претерпевают существенные изменения в связи с износом, старением, образованием отложений и т. д. (рис. 3).

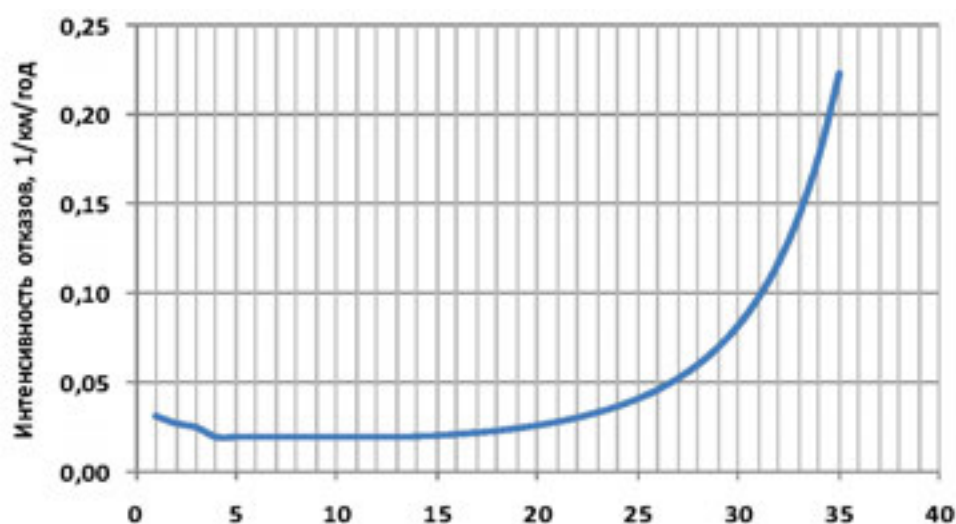


Рис. 3. Интенсивность отказов в зависимости от срока эксплуатации участка тепловой сети

Несоответствие паспортных характеристик фактическим не позволяет обоснованно разрабатывать мероприятия по наладке, реконструкции и развитию ТС, в том числе на основе методов имитационного моделирования.

Заключение

Для повышения качества теплоснабжения, поддержания комфортных условий микроклимата, а также экономии топливно-энергетических ресурсов рекомендуется установить устройства, позволяющие осуществлять количественное регулирование в ЦТП, ИТП и индивидуальных теплопотребляющих установок. Создание и наличие системы автоматизированного мониторинга дает потенциальную возможность определения фактического состояния оборудования косвенным путем — по результатам измерения параметров режима, давая, таким образом, сводку набора характеристик, обеспечивающих косвенный мониторинг.

Мониторинг систем теплоснабжения коммунальной инфраструктуры Волгограда поможет решить задачи объединения всего комплекса инженерных сооружений в единый процесс производства, транспорта, распределения и потребления тепла. Учитывая тот факт, что мониторинг тепловых сетей нацелен на решение задач информационного обеспечения принятия управленческих решений в области их эксплуатации и развития, это обеспечит согласованную политику в области оперативного и стратегического управления теплоснабжением города. Система мониторинга становится инструментом сопровождения, информационно-аналитической поддержки и контроля реализации различных мероприятий, предусмотренных схемой теплоснабжения, что позволит в оперативном порядке ее актуализировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка надлежащего технического состояния тепловых сетей потребителя, расположенных между точкой поставки и точкой учета тепловой энергии (мощности) // Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 08.08.2012 г. № 808 (ред. от 14.02.2020 г.).
2. Методические рекомендации по определению технического состояния систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и водоотведения (утв. заместителем Министра регионального развития Рос. Федерации 25 апр. 2012 г.).
3. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок (утв. приказом М-ва энергетики Рос. Федерации от 24 марта 2003 г. № 115).
4. Об утверждении правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации : приказ Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. № 229) (с изм. и доп. от 13 сент. 2018 г., 9 янв., 8, 11, 13 февр. 2019 г.).
5. РД 153-34.0-20.522-99. Типовая инструкция по периодическому техническому освидетельствованию трубопроводов тепловых сетей в процессе эксплуатации. М., 2000.
6. МДК 4-02.2001. Типовая инструкция по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения (утв. приказом Госстроя России от 13.12.2000 г. № 285).
7. Методические рекомендации по техническому освидетельствованию трубопроводов тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения (утв. заместителем председателя Госстроя России 12.08.2003 г.).
8. СНиП 2.04.07-86*(2000). Тепловые сети (актуал. ред. СП 124.13330.2012).
9. СО 153-34.20.523-2003. Методические указания по составлению энергетической характеристики водяных тепловых сетей по показателю «тепловые потери». М. : Фирма по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС, 2003.
10. Типовая инструкция по технической эксплуатации систем транспорта и распределения тепловой энергии (тепловых сетей). М. : СПО ОРГРЭС, 1999.
11. Правила эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей потребителей. М. : Энергоатомиздат, 1992.
12. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети (зарег. Росстандартом в качестве СП 124.13330.2011). М. : Госстрой России. 2011.
13. СП 124.13330.2012. Тепловые сети (актуал. ред. СНиП 41-02-2003. М. : Госстрой России, 2012).
14. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий (актуал. ред. СНиП 2.04.01-85*). М. : Госстрой России, 2012.
15. ГОСТ 30732-2006. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия.
16. ГОСТ Р 52134-2003*. Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия.
17. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. Своды правил по проектированию и строительству. М. : Минстрой России, 1996.
18. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование (актуал. ред. СНиП 41-01-2003). М. : Госстрой России, 2004.

19. Новицкий Н. Н., Шалагинова З. И., Токарев В. В., Гребнева О. А. Технология разработки эксплуатационных режимов крупных систем теплоснабжения на базе методов многоуровневого теплогидравлического моделирования // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. 2018. № 1. С. 12—24.

© Сорокин А. М., 2022

*Поступила в редакцию
в феврале 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Сорокин А. М. Мониторинг систем теплоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 90—98.

Об авторе:

Сорокин Алексей Михайлович — канд. техн. наук, доц. каф. энергосбережения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; a.sorokin05@bk.ru

Alexey M. Sorokin

Volgograd State Technical University

MONITORING OF HEAT SUPPLY SYSTEMS

The reliability of heating networks is extremely important for the heat supply system as a whole, radically affecting the planned measures for the development of heat supply sources and heating networks. This is achieved through redundancy, partitioning, timely reconstruction of sections of heating networks, maintenance. As a rule, the number of available jumpers is not always enough, and mutual redundancy of heat sources is often impossible due to the capacity of heat pipelines. Temporarily formed heat supply systems operate in inefficient modes with increased fuel consumption and environmental stress on the environment, therefore, preventive maintenance, monitoring (for heating networks — their diagnostics), timely and high-quality maintenance and commissioning activities play an important role in ensuring the reliability of heat supply systems. However, in order to achieve a systemic effect, effective management and a quality control system of work are necessary.

Key words: reliability, heat networks, heat losses, heat supply system, multilevel modeling, regime management, regime controllability indicator, monitoring, methodology, algorithm, calculation, information and computing complex.

For citation:

Sorokin A. M. [Monitoring of heat supply systems]. 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], 2022, iss. 2, pp. 90—98.

About author:

Alexey M. Sorokin — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; a.sorokin05@bk.ru

УДК 628.349.087

**А. А. Геращенко, Э. П. Доскина, Д. О. Игнаткина, О. С. Власова, А. А. Сахарова,
Д. В. Тырин, М. А. Селиверстова**

Волгоградский государственный технический университет

**СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
СТРОИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ КРАСИЛЬНО-ПЕЧАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА
ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ**

Для исследования был выбран метод электрокаталитической деструкции концентрата красильно-печатного предприятия, который получен методом упаривания и обеспечивает образование высококачественного дистиллята, возвращаемого в производство. Для достижения поставленной цели на модельных растворах и реальных стоках были изучены свойства и различные факторы, влияющие на извлечение красителей из полученных концентрированных сточных вод. На основании проведенных исследований рекомендованы параметры электрохимической обработки концентрата.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрохимическая обработка, электролиз, кубовые красители, лейкосоединения, концентрат.

Среди разнообразия методов электрообработки водных систем наибольшее применение в технологии обезвреживания окрашенных сточных вод имеют методы электрохимической и электрокаталитической деструкции.

Сущность метода электрохимической деструкции заключается в обработке сточной воды в аппарате с нерастворимыми, в условиях анодной поляризации, электродами. Для успешного осуществления электролиза необходимо наличие в воде хлорид-ионов, соответствующий подбор анодного материала и определенные режимные параметры обработки [1—5].

На основании проведенного литературного обзора в лабораторных условиях с использованием модельных и реальных растворов, содержащих красители, была поставлена задача сформулировать технические требования к потенциальному методу очистки стоков, позволяющему снижать концентрации загрязнений сточных вод до норм их повторного использования. В соответствии со сформулированными признаками за основу взят метод концентрирования стоков упариванием с получением высококачественного дистиллята, возвращаемого в систему оборотного водоснабжения, и концентрата для дальнейшей переработки. Установлено, что в полученном концентрате не меняется химический состав компонентов, что было взято за основу разработки способа использования содержащихся компонентов [6].

Для изучения свойств, а также различных факторов, влияющих на извлечение красителя, была собрана лабораторная установка (рис. 1).

В химический стакан заливали воду с учетом внесения матового куба и добавляли раствор едкого натра. Раствор нагревали до оптимальной температуры восстановления красителя, добавляли гидросульфит натрия, перемешивали и затем добавляли маточный куб, смывая остатки маточного куба красильным раствором.

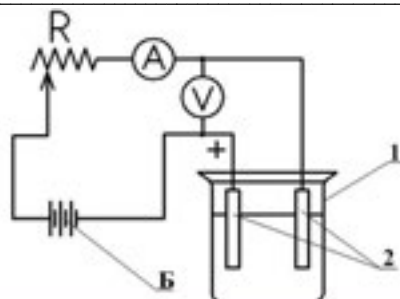


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — химический стакан; 2 — электроды; A — амперметр; Б — источник тока; R — реостат; V — вольтметр

Модельные растворы были приготовлены из шести рассматриваемых красителей с повышенной концентрацией — концентрацией выхода сгущенного стока после предусмотренной в проекте выпарной установки. Для изучения влияния различных факторов на процесс извлечения красителя из сточных вод было взято шесть видов кубового красителя: 1) кубовый желтый 3Х; 2) кубовый ярко-оранжевый КХ; 3) кубовый коричневый К; 4) кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5) кубовый синий О; 6) кубовый алый 2Ж.

Согласно литературным данным, образующаяся для крашения хлопка натриевая соль лейкосоединения ($\geq C = ONa$) растворима в воде и обладает сродством к целлюлозному волокну, но при окислении кислородом воздуха (что предусмотрено технологией крашения) она переходит в соответствующий нерастворимый исходный краситель (пигмент) [7, 8].

Анализ химического состава сточной воды красильно-печатного производства показал наличие растворимых и нерастворимых форм. С учетом этого фактора модельные растворы составлены приблизительно к процентному соотношению реального стока усредненного состава за 30 дней. Затем эти модельные растворы окисляли кислородом воздуха, имитируя окисление при крашении в производственных условиях, что позволило доказать: при существующих исходных концентрациях кубового красителя при крашении в СВ не более 0,018 г/л в исходном стоке присутствует натриевая соль лейкосоединения (растворенная форма) и остальное в нерастворенном виде 0,034 г/л.

При подборе оптимальных факторов электрохимической обработки проводили исследования с модельными растворами, содержащими исследуемые группы кубовых красителей, нерастворимых в кислых средах. Именно этот факт взят за основу выделения его электрохимическим способом из обозначенных стоков. Исследуемый исходный сток имеет $pH = 8,0 \dots 8,5$, после концентрирования $pH = 9,0 \dots 9,5$. Поскольку в анодном пространстве при существующем составе стока может окисляться только вода, создавая при этом кислую среду, были проведены комплексные исследования, которые позволили рекомендовать не только требуемый состав концентрата, но и все условия максимального выделения кубового красителя [8—10].

При максимальных значениях электропроводности и минимальной вязкости в процессе электрохимической обработки водной среды уменьшение pH раствора до $5,0 \dots 5,4$ в анодном пространстве полностью переводит растворенную натриевую соль лейкосоединения в нерастворенную.

Наиболее важным условием, необходимым для успешного осуществления электрохимического процесса, является выбор материала электродов, который определяется главным образом природой исходного и конечного продуктов электрохимической реакции, а также химической устойчивостью данного электрода и его инертностью по отношению к среде, в которой происходит электролиз. Основная трудность при этом возникает вследствие того, что большинство металлов термодинамически неустойчивы в условиях анодной поляризации (происходит их растворение или пассивация). Особые условия работы анодов при электролизе разбавленных растворов NaCl связаны с тем, что на них, кроме разряда ионов хлора, происходит выделение значительного количества кислорода [9, 11].

Учитывая стоимостные характеристики, для лабораторных исследований в качестве анодного материала выбраны графит и нержавеющая сталь.

Графит является высокоэлектропроводным, электрохимически активным анодным материалом. Сочетание этих свойств с невысокой стоимостью обуславливает его широкое применение, представляет определенный интерес для использования в технологических системах водоочистки. Однако графитовые аноды вследствие значительной пористости впитывают большие количества раствора соли, поэтому действие электрического тока проявляется не только на поверхности анода, но и в самом электроде, что создает благоприятные условия для его разрушения [7]. При этом происходит окисление, «сгорание» графита продуктами электролиза, а также разрыхление его структуры выделяющимися электролитическими газами, приводящее к механическому осыпанию зерен углерода, что подтверждают данные рис. 2 и 3.

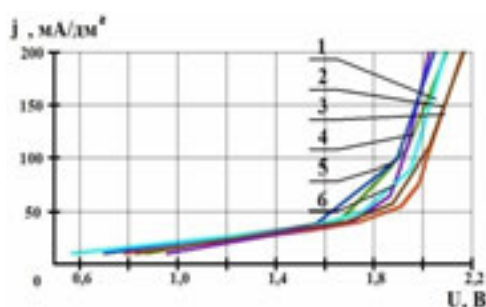


Рис. 2. Поляризационные кривые, снятые на графитовом аноде: 1 — кубовый желтый 3Х; 2 — кубовый ярко-оранжевый КХ; 3 — кубовый коричневый К; 4 — кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5 — кубовый синий О; 6 — кубовый алый 2Ж

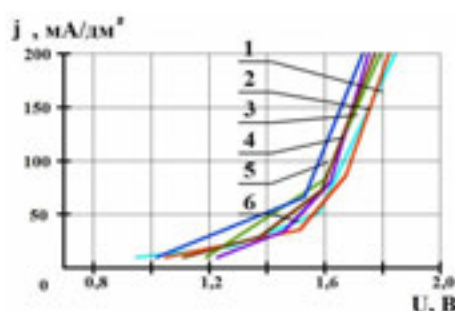


Рис. 3. Поляризационные кривые, снятые на аноде из нержавеющей стали: 1 — кубовый желтый 3Х; 2 — кубовый ярко-оранжевый КХ; 3 — кубовый коричневый К; 4 — кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5 — кубовый синий О; 6 — кубовый алый 2Ж

На графиках рис. 4 мы видим, что при изменении напряжения от 0,6 В до 1,6 В плотности тока в растворах красителей меняются незначительно. После 1,6 В плотности тока начинают увеличиваться. Потенциал нержавеющей стали при плотностях тока 45...80 мА/дм² значительно ниже потенциала графитового анода. Вследствие этого напряжения на электролизере с анодами нержавеющей стали при одинаковой плотности тока на 0,2...0,3 В ниже, чем с графитовыми анодами, что приводит к меньшим энергозатратам для осуще-

ствления этой реакции. Определившись с материалом анода, проведем поиск оптимальной его площади. Установлено, что оптимальным является соотношение $S_a : S_k = 10 : 1$. Таким образом, рекомендуемый для практического применения материал анода — нержавеющая сталь. Рабочая плотность тока $j = 45 \dots 80 \text{ мА/дм}^2$ [12—16].

Далее определялось время электрохимической обработки, за которое достигается максимальное значение эффективности выделения кубового красителя (рис. 5). Максимальное время электрохимической обработки составляет 40...45 мин.

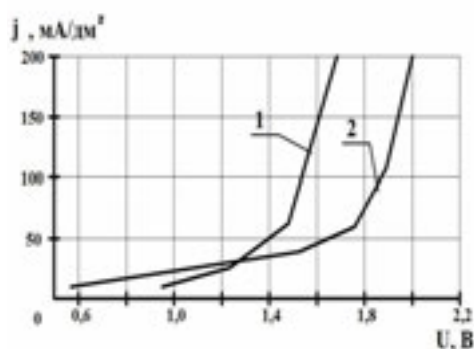


Рис. 4. Анодные поляризационные кривые в растворе смеси красителей: 1 — анод из нержавеющей стали; 2 — анод из графита

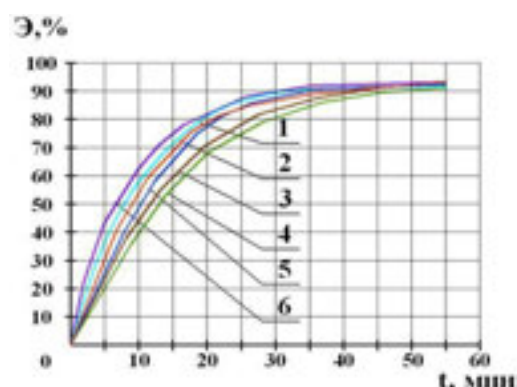


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки от времени обработки: 1 — кубовый желтый 3Ж; 2 — кубовый ярко-оранжевый КХ; 3 — кубовый коричневый К; 4 — кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5 — кубовый синий О; 6 — кубовый алый 2Ж

Значение рН уменьшается, что благоприятствует переходу растворимой формы красителя в нерастворимую. Реакция среды является определяющим фактором в процессе извлечения кубового красителя, так как именно рН раствора влияет на концентрации растворенных и нерастворенных форм кубового красителя. Чем выше рН раствора, тем больше красителя находится в виде натриевой соли лейкосоединения, т. е. в растворенном состоянии. Понижение рН приводит к переходу красителя в нерастворенное состояние [16, 17].

На рис. 6 показано, что максимальная эффективность перехода красителя в нерастворенную форму выше 90 % достигается при $\text{pH} = 4,0 \dots 5,5$, что соответствует времени обработки 40...45 мин.

Как известно, с ростом температуры скорость большинства химических реакций увеличивается. В электрохимических системах повышение температуры электролита снижает перенапряжение электродных реакций. Температурный коэффициент перенапряжения выделения водорода и кислорода составляет 2...4 мВ/С [17].

Повышение температуры от комнатной до 60...80 °С снижает перенапряжение этих процессов на 30...40 %, что подтверждается данными, представленными на рис. 7.

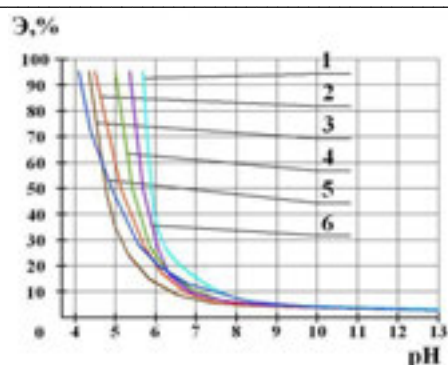


Рис. 6. Зависимость эффективности очистки от pH раствора: 1 — кубовый желтый 3Х; 2 — кубовый ярко-оранжевый КХ; 3 — кубовый коричневый К; 4 — кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5 — кубовый синий О; 6 — кубовый алый 2Ж

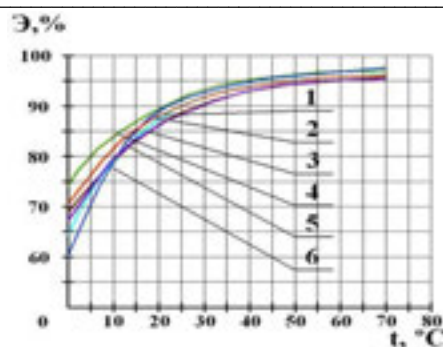


Рис. 7. Зависимость эффективности очистки от температуры сточных вод: 1 — кубовый желтый 3Х; 2 — кубовый ярко-оранжевый КХ; 3 — кубовый коричневый К; 4 — кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5 — кубовый синий О; 6 — кубовый алый 2Ж

Как видим, увеличение температуры увеличивает эффективность очистки, что позволяет рекомендовать уменьшение времени обработки при использовании подогрева раствора на соответствующую величину. Подобное целесообразно, если приходится перерабатывать стоки объемом более 10 тыс. м³/сут и при этом использовать вторичный пар определенных технологических процессов. Для производственной площадки данного исследования оптимальная температура равна 25 °С.

Далее исследовалось влияние концентрации гидросульфита натрия, который входит в состав концентрата краски, на эффективность очистки воды (рис. 8).

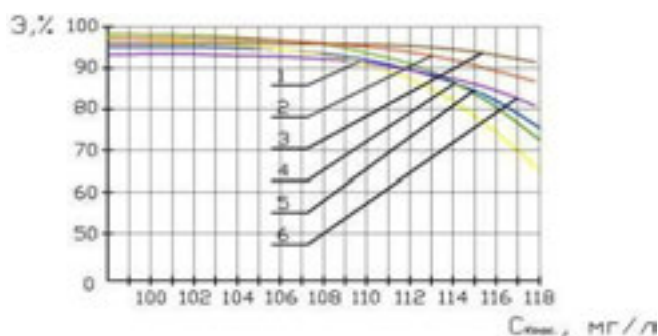


Рис. 8. Зависимость эффективности очистки от исходной концентрации красителя: 1 — кубовый желтый 3Х; 2 — кубовый ярко-оранжевый КХ; 3 — кубовый коричневый К; 4 — кубовый ярко-зеленый 2Ж; 5 — кубовый синий О; 6 — кубовый алый 2Ж

Увеличение концентрации гидросульфита натрия ведет к увеличению эффективности очистки, что вызвано увеличением электропроводности раствора, выше, однако, при концентрации 1,8 мг/л. Оптимальная концентрация NaHSO₃ составляет 2,0 г/л*.

* Щелочкова А. А. Разработка замкнутой системы водного хозяйства основного производства текстильного предприятия : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2012. 142 с.

На основании проведенных исследований рекомендованы параметры электрохимической обработки концентрата, состав которого представлен в табл.

*Параметры электрохимической обработки концентрата
красильно-печатного производства*

Показатель, ед. изм.	Значение
Материал анода	Нержавеющая сталь
Время обработки, мин	40...45
pH	4,0...5,5
Температура, С°	25
Плотность тока, мА/дм ²	45...80
Концентрация NaHSO ₃ , г/л	2,5
S _a : S _к	10 : 1

На основании результатов проведенных исследований сформулированы следующие **выводы**:

- 1) подобраны условия концентрирования сточных вод красильно-печатного цеха текстильного предприятия;
- 2) экспериментально обоснован выбор материала электродов;
- 3) определены оптимальные параметры выделения из сточных вод красильно-печатного производства красителей электрохимической обработкой постоянным током.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимов А. Я., Таварткиладзе И. М., Ткаченко Л. И. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности. Киев : Техника, 1985. 230 с.
2. Киришина Е. Ю., Шаповалова Л. М., Стрижевский А. А. Комбинированная схема очистки сточных вод текстильного производства от красителей // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века : материалы 20-й междунар. науч. конф. : в 2 ч. Минск, 2020. С. 370—373.
3. Минаев Д. В., Субботина Е. В., Чугунов А. Д. Оптимизация электрохимического извлечения хрома из производственных стоков // Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / Глав. ред. Е. Г. Филатова, 2017. С. 257—260.
4. Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. II. Электрохимическая деструкция органических веществ; использование электролиза в технологии очистки воды / Т. А. Харламова, А. В. Колесников, А. Ф. Алафердов, М. Т. Сарбаева, А. М. Гайдукова // Гальванотехника и обработка поверхности. 2013. Т. 21. № 3. С. 55—62.
5. Комплексная система очистки сточных вод текстильного предприятия / А. А. Геращенко, О. С. Власова, Д. О. Игнаткина, Ю. Ю. Юрьев, Р. В. Потоловский // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 72—83.
6. Таубман Е. И. Выпаривание. М. : Химия, 1982. С. 328.
7. Якименко Л. М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. М. : Химия, 1987. С. 183.
8. Электрокаталитическая деструкция 4-хлорфенола на композитном PBO₂-ZRO₂-электроде и его электрохимические свойства / Й. Яо, Л. Цзяо, Н. Ю, Ц. Жу, С. Чен // Электрохимия. 2016. Т. 52. № 4. С. 398—405.
9. During G., Haussmann Y. P., O'Hare B. Y. Recycling Aqueous dyehouse effluent // Canadian Textile Journal. 1979. Vol. 96. No. 5. Pp. 47—54.
10. Краснобородько И. Г., Светашева Е. С. Электрохимическая очистка сточных вод. Л. : ЛИСИ, 1978. С. 89.

11. *Геращенко А. А., Сахарова А. А., Игнаткина Д. О.* A Modern integrated approach in the technology of wastewater treatment of dye-printed manufactures of a textile enterprise // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 272. International science and technology conference "Earth science" (Russky Island, Russian Federation, 4—6 March, 2019) / Ed. by D. B. Solovov. IOP Publishing, 2019. P. 6.
12. *Erndt E., Kurbiel J.* The application of ozon in removal of refractory substances from textile wastewater // Prot. Eng. (PRL). 1980. Vol. 6. No. 1. Pp. 19—35.
13. *Streibelt I. P.* Chemiefas-Textilind. 1983. Vol. 33/85. No. 7-8. P. 500.
14. *Fiala B., Villiger K.* Problems of waste water purification in the textile industry // Textilveredlung. 1979. Bd. 14. S. 5—12.
15. *Watter J. C., Biagtan E., Senler O.* Ultrafiltration of a Textile Plant Effluent // Separ. Sci. and Technol. 1991. No. 26.
16. Электрохимический способ извлечения кубовых красителей из сточных вод красильно-печатных производств / Е. В. Москвичева, А. В. Москвичева, А. А. Геращенко, А. А. Сахарова, М. А. Геращенко // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. № 43. С. 152—160.
17. *Mann A. S.* Textile wet processes and water pollution // Man-Made Text. India. 1993. Vol. 36. No. 10-11. Pp. 481—487.

© А. А. Геращенко, Э. П. Доскина, Д. О. Игнаткина, О. С. Власова,
А. А. Сахарова, Д. В. Тырин, М. А. Селиверстова, 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Снижение техногенного воздействия на окружающую среду строительных узлов красильно-печатного производства на основе совершенствования метода электрокаталитической деструкции / А. А. Геращенко, Э. П. Доскина, Д. О. Игнаткина, О. С. Власова, А. А. Сахарова, Д. В. Тырин, М. А. Селиверстова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 99—106.

Об авторах:

Геращенко Алла Анатольевна — канд. техн. наук, доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Доскина Эльвира Павловна — канд. техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Игнаткина Дарья Олеговна — аспирант каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Власова Оксана Сергеевна — канд. техн. наук, доц. каф. пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vlasova_oksana@mail.ru

Сахарова Анастасия Андреевна — ассистент каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Тырин Дмитрий Вячеславович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Селиверстова Марина Александровна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

**Alla A. Gerashchenko, El'vira P. Doskina, Dar'ya O. Ignatkina, Oksana S. Vlasova,
Anastasiya A. Sakharova, Dmitriy V. Tirin, Marina A. Seliverstova**

Volgograd State Technical University

**REDUCTION OF THE TECHNOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT
OF THE CONSTRUCTION UNITS OF THE DYE-PRINTING INDUSTRY
BASED ON THE IMPROVEMENT
OF THE METHOD ELECTROCATALYTIC DESTRUCTION**

For the study, the method of electrocatalytic destruction of the concentrate of the dye-printing enterprise obtained by evaporation was chosen, which ensures the production of high-quality distillate returned to production. To achieve this goal, on model solutions and real effluents, the properties and various factors affecting the extraction of dyes from the resulting concentrated wastewater were studied. Based on the conducted studies, the parameters of electrochemical treatment of the concentrate are recommended.

Key words: electrochemical processing, electrolysis, vat dyes, leuco compounds, concentrate.

For citation:

Gerashchenko A. A., Doskina E. P., Ignatkina D. O., Vlasova O. S., Sakharova A. A., Tirin D. V., Seliverstova M. A. [Reduction of the technogenic impact on the environment of the construction units of the dye-printing industry based on the improvement of the method electrocatalytic destruction]. *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], 2022, iss. 2, pp. 99—106.

About authors:

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

El'vira P. Doskina — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Dar'ya O. Ignatkina — Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

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

Anastasiya A. Sakharova — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Dmitriy V. Tirin — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

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

УДК 628.2/691.4

О. А. Продоус^а, Д. И. Шлычков^б, С. В. Пархоменко^в

^а ООО «ИНКО-эксперт»

^б Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

^в АО «Мосводоканал»

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТАБЛИЦ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА САМОТЕЧНЫХ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ОТЛОЖЕНИЯМИ В ЛОТКОВОЙ ЧАСТИ ТРУБ

Цель — обосновать необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб. Используются расчетные зависимости, выведенные авторами для гидравлического расчета самотечных сетей с внутренними отложениями в лотковой части. Подтверждено на конкретном примере существование зависимости гидравлического уклона в трубах с отложениями в их лотковой части от приведенной скорости потока. Дано понятие «приведенный внутренний диаметр самотечных труб». Подтверждено примером существование зависимости гидравлического уклона в трубах с отложениями в лотковой части от толщины слоя фактических отложений. Приведены графики этих зависимостей. Доказана необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сети водоотведения, гидравлический расчет, внутренние отложения, таблицы, самотечные сети.

Введение

Отмечено на практике, что нарушение скоростного режима в самотечных сетях водоотведения, регламентированного требованиями СП 32.13330.2012, приводит к образованию в лотковой части труб из разных видов материалов слоя осадка (рис. 1).

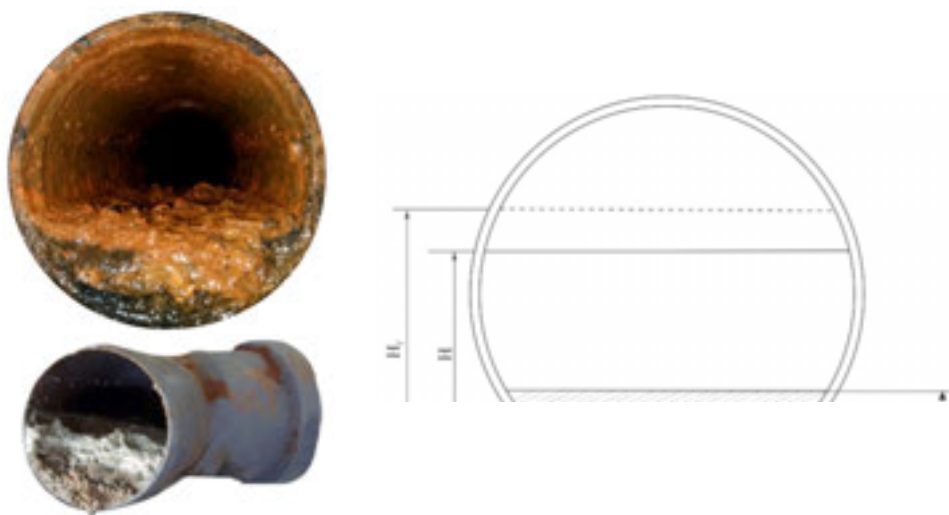


Рис. 1. Фрагмент внутренних отложений в лотковой части труб из разных видов материалов

Материалы и методы

О возможности образования слоя осадка в самотечных сетях водоотведения в процессе их эксплуатации отмечено в работах [1—3]. Однако механизм образования слоя отложений в лотковой части труб до настоящего времени описан только в одной работе авторов данной статьи [3].

Наличие слоя осадка любой структуры в лотковой части труб вызывает следующие эксплуатационные проблемы:

- способствует возникновению закупорки сети, когда в сточных водах вместе с потоком сточной жидкости перемещаются ветки деревьев, крупные плавающие загрязнения, бумага и т. п.;
- нарушается степень наполнения труб, регламентированная требованиями СП 32.13330.2012, для обеспечения самоочищающих скоростей движения потока сточных вод;
- отсутствует свободное пространство между сводом трубы и движущимся потоком сточных вод, обеспечивающее возможность удаления из сети дурнопахнущих агрессивных газов.

Поэтому в европейских странах законодательно установлено обязательное проведение одно- или двухразовой гидродинамической очистки сетей водоотведения (по-разному в разных странах) вне зависимости от их состояния.

Проведение гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения процесс дорогостоящий. Поэтому авторами статьи в работах [4, 5] была предложена идея контроля толщины слоя осадка в трубах путем проведения замеров толщины слоя внутренних отложений в лотковой части труб с помощью специально разработанного устройства (номер заявки: 2022102567 от 02.02.2022 г.) Такое устройство позволяет планировать проведение гидродинамической очистки сети (составлять график), устанавливать первоочередность проведения очистки сети и планировать на это материальные средства.

Сети водоотведения — это сложная инженерная система, живой гидравлический организм, который не вечен и требует также разработки проектов реконструкции сети. Для этого потребуется выполнение следующих этапов:

1. Проведение гидравлического расчета сети водоотведения с отложениями в лотковой части труб.
2. Сравнение результатов гидравлического расчета новых труб из конкретного вида материалов и действующих труб с отложениями в их лотковой части.
3. Обоснование выбора вида материала труб по разработанным критериям [6].

Выполнение этих этапов возможно, кроме одного этапа — гидравлического расчета труб с отложениями в их лотковой части, для которых не разработаны таблицы для их гидравлического расчета. В результате проведения гидравлических расчетов бетонных труб диаметром 400 мм было установлено, что проводить их гидродинамическую очистку требуется при образовании слоя отложений в лотковой части труб толщиной $h = 70$ мм [7—9]. В зависимости от величины перемещаемого расхода сточных вод меняется диаметр труб, степень их наполнения и, соответственно, толщина слоя отложений в их лотковой части h .

Покажем на конкретном примере, как проводится гидравлический расчет трубопровода с отложениями в лотковой части и что при этом нужно обязательно учитывать.

Результаты исследования

Условие задачи

По самотечному трубопроводу из бетонных труб диаметром 400 мм сети водоотведения перемещается поток бытовых сточных вод $q = 150$ л/с ($0,15$ м³/с). Температура сточных вод 12 °С. Толщина слоя осадка в лотковой части труб $h = 100$ мм ($0,1$ м). Провести гидравлический расчет сети водоотведения и обосновать необходимость проведения ее гидродинамической очистки от слоя отложений. Построить график зависимости $i_{\text{пр}} = f(h)$.

Решение

Методика гидравлического расчета сетей водоотведения с внутренними отложениями в лотковой части труб изложена в работах [10—12]. Достоинством публикаций [10, 13] является возможность расчета гидравлического уклона сети $i_{\text{ф}}$ при любой толщине слоя отложений h в лотковой части труб.

Методы

Проведем гидравлический расчет труб согласно условиям задачи, с использованием следующих расчетных зависимостей.

1. Для определения значения внутреннего диаметра бетонных труб используется формула (рис. 2)

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}, \text{ м}, \quad (1)$$

где $d_{\text{н}}$ — наружный диаметр труб по ГОСТ, м; $S_{\text{р}}$ — толщина стенки трубы по ГОСТ для конкретного вида материала труб, м.

2. Для сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб их фактический внутренний диаметр $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ характеризуется значением приведенного диаметра труб $d_{\text{пр}}$, определяемого по формуле (3).

Площадь самотечного периметра трубы без слоя отложений определяется по формуле

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi(d_{\text{вн}}^{\text{н}})^2}{4}, \text{ м}^2.$$

Фактическая площадь смоченного периметра трубы со слоем осадка h в ее лотковой части:

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4}, \text{ м}^2.$$

При наличии слоя осадка h всегда $\omega_{\text{ф}} > \omega_{\text{н}}$, м², на величину толщины слоя осадка h , характеризуемую значением приведенного диаметра $d_{\text{пр}}$ (см. рис. 2).

$$\frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4} = \frac{\pi(d_{\text{вн}}^{\text{н}})^2}{4} - \frac{\pi(d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^2}{4}, \quad (2)$$

где

$$d_{\text{вн}}^{\text{ф}} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - h, \text{ м}.$$

После некоторых преобразований формула (2) приобретает вид

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{(d_{\text{вн}}^{\text{н}})^2 - (d_{\text{вн}}^{\text{н}} - h)^2}, \quad (3)$$

где h — толщина слоя осадка в лотковой части труб (измеренная), м [1].

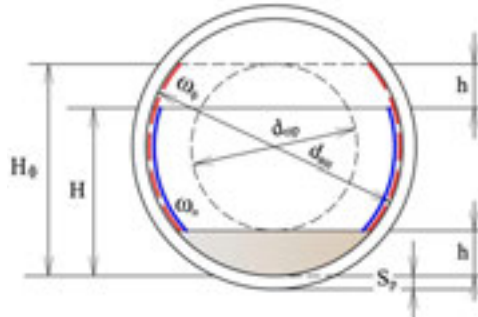


Рис. 2. Приведенный диаметр труб с отложениями в лотковой части

Значение фактического внутреннего диаметра $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ зависит от вида материала труб, состава сточных вод и определяется с учетом их производителя и толщины слоя осадка h в их лотковой части [1, 2].

Приведенный диаметр самотечных труб с отложениями в лотковой части — это диаметр, соответствующий диаметру трубы с площадью живого сечения $\omega_{\text{пр}}$, равной разнице площадей $\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{н}} - \omega_{\text{ф}}$ смоченного периметра труб при наибольшей (рекомендованной СП 32.13330.2012) степени наполнения $\omega_{\text{н}}$ и фактически, при наличии слоя осадка h в лотковой части — $\omega_{\text{ф}}$ (см. рис. 2).

3. Расчет приведенной (фактической) скорости движения сточных вод в трубах с отложениями в их лотковой части производится по эмпирической зависимости, имеющей следующий вид [7]:

$$V_{\text{пр}} = \frac{4q}{\pi(d_{\text{пр}})^2}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

где $V_{\text{пр}}$ — приведенная скорость потока, м/с; q — заданный расход, м³/с; π — константа, $\pi = 3,14$; $d_{\text{пр}}$ — приведенный диаметр труб с отложениями, определяемый по формуле (3), м.

4. Гидравлический уклон сети труб с отложениями в их лотковой части определяется по выведенной авторами формуле [11]:

$$i_{\text{пр}} = \frac{4V_{\text{пр}}^2}{C^2 d_{\text{пр}}}, \text{ м/м}, \quad (5)$$

где C — безразмерный коэффициент А. Шези, определяемый по формуле, уточненной акад. Н. Н. Павловским:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n},$$

где R — гидравлический радиус труб, n — коэффициент шероховатости труб, значение которого принимается в диапазоне величин: $n = 0,012 \dots 0,014$ [12, 14].

Результаты расчетов, проведенных по формулам (1)–(5), для условий поставленной задачи сведены в табл.

*Результаты расчетов, проведенных по формулам (1)–(5),
 для условий поставленной задачи*

Характеристики бетонных труб	Новые трубы				
	Скорость потока $V_{пр}$, м/с				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
$d_{вн}^p$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
C_p	52,38	52,38	52,38	52,38	52,38
i_p , м/м	0,00036	0,00146	0,00328	0,00583	0,00911
<i>Трубы с отложениями в лотковой части</i>					
Толщина слоя h , м	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15
$d_{пр}$, м	0,230	0,180	0,140	0,120	0,100
$V_{пр}$, м/с	3,61	5,90	9,76	13,27	19,11
$C_{пр}$	48,08	46,64	44,94	42,83	41,55
$i_{пр}$, м/м	0,00021	0,35546	1,3476	3,1998	8,4614

По данным табл. на рис. 3 построен график зависимости $i_{пр} = f(V_{пр})$, подтверждающий, что чем больше приведенная скорость потока $V_{пр}$ в трубе с отложениями, тем больше значение гидравлического уклона i_r .

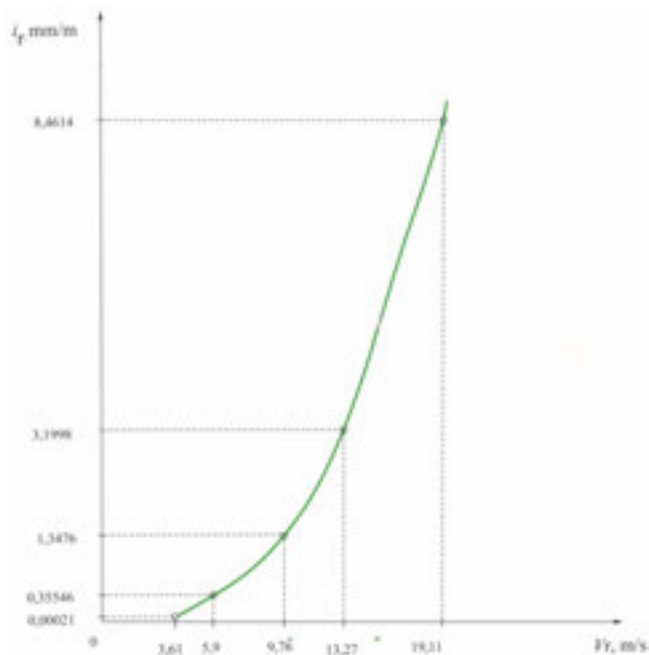


Рис. 3. График зависимости $i_{пр} = f(V_{пр})$

Анализ значений $d_{пр}$ в табл. показывает, что при разной толщине слоя осадка h и скоростей потока $V_{пр}$ в диапазоне $0,5 \dots 2,5$ м/с фактические значения $d_{пр}$ изменяются в 2,3 раза. Это означает, что для гидравлического расчета

труб с отложениями в их лотковой части необходимо разработать специальные таблицы, обеспечивающие точность проведения расчетов значений гидравлических характеристик труб.

Наличие слоя осадка h в лотковой части бетонной трубы диаметром 400 мм еще более увеличивает скорость потока V (см. табл.). Чем больше толщина слоя осадка h , тем больше приведенная скорость потока сточной жидкости $V_{пр}$ (см. рис. 3) и тем больше значение приведенного гидравлического уклона $i_{пр}$. То есть влияние толщины слоя осадка h в лотковой части труб на значения гидравлических характеристик потока явно выражено, что подтверждается графиком зависимости $i_{пр} = f(h)$ (рис. 4).

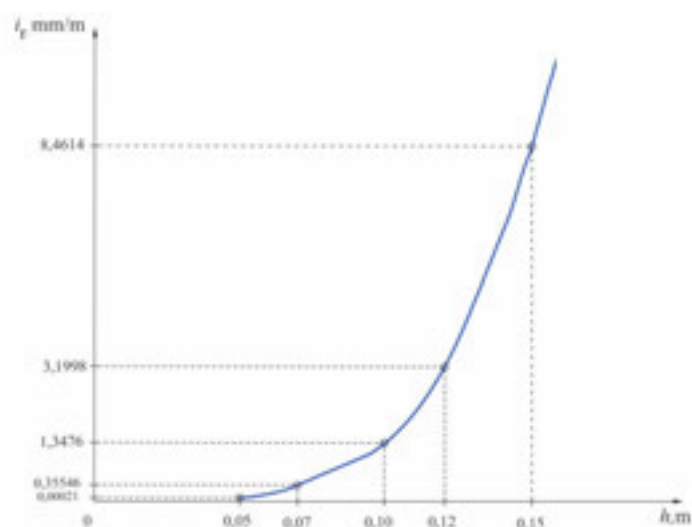


Рис. 4. График зависимости $i_{пр} = f(h)$

Анализ таблиц других авторов для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения показывает, что составленные ими таблицы [15, 16] вообще не учитывают влияние толщины фактического слоя осадка в лотковой части труб на гидравлические характеристики потока. Поэтому гидравлический расчет труб с отложениями дает значительные погрешности при их расчете [10]. Это также обосновывает необходимость разработки специальных таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб.

Заключение

Таким образом, приведенный практический пример подтверждает необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб.

Использование таких таблиц обеспечит:

- повышение точности проведения гидравлического расчета труб с отложениями в их лотковой части;
- обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения;
- основание для разработки графика проведения работ по гидродинамической очистке сетей водоотведения;

• возможность обоснования необходимости разработки проектов реконструкции самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями в лотковой части труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ботук Б. О., Федоров Н. Ф. Канализационные сети : учеб. пособие. М. : Стандарт, 1976. 272 с.
2. Абрамович И. А. Повышение достоверности расчета сетей водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 3. С. 4—5.
3. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. 2021. № 6(750). С. 95—98.
4. Продоус О. А., Новиков М. Г., Кривоносов С. И. Рекомендации по гидродинамической очистке и телевизионной диагностике сетей водоотведения. СПб. : НИИ АКХ им. К. Д. Памфилова, 2001. 36 с.
5. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4. С. 646—653. URL: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>.
6. Продоус О. А., Муллин А. А., Иващенко В. В. Критерии выбора материалов труб для напорных трубопроводов коммунального и промышленного водоснабжения // Технологии очистки воды «Техновод-2017» : материалы X юбилейной междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 5—6 окт. 2017 г. Астрахань, 2017. С. 101—105.
7. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Зависимость фактической скорости потока в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб // Технологии очистки воды «Техновод-2021» : материалы XIII междунар. науч.-практ. конф., Сочи, Красная Поляна, 14—17 дек. 2021 г. Сочи, 2021. С. 101—104.
8. Madryas C., Przybyla B. Inspection of pipes as an element of operating municipal sewerage networks // Tunnelling and Underground Space Technology. 1998. Vol. 13. Iss. 1. Pp. 57—64. URL: [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(98\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(98)00026-1).
9. Dawoud M. M., Al-Ajamee M., Mohamed T., Elnour R. Towards resilient municipal wastewater sewerage systems in Khartoum: a surcharged flow measurement device // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 52. Part 3. Pp. 986—992. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.463>.
10. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения // Вестн. МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 1. С. 106—115.
11. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Уточненная формула А. Шези для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Сб. докл. участников интеллектуал. марафона в области водоснабжения и водоотведения среди молодых ученых, аспирантов и студентов, Москва, 9 сент. 2021 г. М. : Изд-во МИСИ — МГСУ, 2021. С. 56—60. URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa>.
12. Чупин Р. В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения : моногр. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2015. 418 с.
13. Schwermer C. U., Uhlabc W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river // Journal of Environmental Management. 2021. No. 288. Pp. 2—14.
14. Merachtsaki D., Tsardaka E.-C., Anastasiou E., Zouboulis A. Anti-corrosion properties of magnesium oxide/magnesium hydroxide coatings for application on concrete surfaces (sewerage network pipes) // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 312. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125441>.
15. Федоров Н. Ф., Волков Л. В. Гидравлический расчет канализационных сетей (расчетные таблицы). 4-е изд., исправ. Л. : Стройиздат, 1968. 252 с.
16. Лукиных А. А., Лукиных Н. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского. 4-е изд., доп. М. : Стройиздат, 1974. 156 с.

© Продоус О. А., Шлычков Д. И., Пархоменко С. В., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Продоус О. А., Шлычков Д. И., Пархоменко С. В. Необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 107—114.

Об авторах:

Продоус Олег Александрович — д-р техн. наук, проф., генеральный директор, ООО «ИНКО-эксперт». Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 37/1, лит. А, пом. 1-Н; pro@enco.su

Шлычков Дмитрий Иванович — канд. тех. наук, доц., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ShlyichkovDI@mgsu.ru

Пархоменко Сергей Викторович — заместитель директора — главный инженер, Управление капитального строительства АО «Мосводоканал». Российская Федерация, 105005, г. Москва, Плетешковский пер., 2; parhomenko_sv@mosvodokanal.ru

Oleg A. Prodous^a, Dmitriy I. Shlychkov^b, Sergey V. Parkhomenko^c

^a LLC “INCO-expert”

^b Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

^c Mosvodokanal JSC

**THE NEED TO DEVELOP TABLES FOR HYDRAULIC CALCULATION
OF GRAVITY-FLOWED WATER DRAINAGE NETWORKS
WITH DEPOSIT IN THE TRAY PART OF THE PIPES**

Justify the need to develop tables for the hydraulic calculation of gravity sewerage networks with deposits in the tray part of the pipes. The calculated dependences derived by the authors for the hydraulic calculation of gravity networks with internal deposits in the flume part are used. The existence of a dependence of the hydraulic slope in pipes with deposits in their flume part on the reduced flow rate was confirmed using a specific example. The concept is given - the reduced internal diameter of gravity pipes. The existence of a dependence of the hydraulic slope in pipes with deposits in the flume part on the thickness of the layer of actual deposits is confirmed by an example. Graphs of these dependences are given. The necessity of developing tables for the hydraulic calculation of gravity sewerage networks with deposits in the tray part of the pipes is proved.

Key words: sewerage networks, hydraulic calculation, internal deposits, tables, gravity networks.

For citation:

Prodous O. A., Shlychkov D. I., Parkhomenko S. V. [The need to develop tables for hydraulic calculation of gravity-flowed water drainage networks with deposit in the tray part of the pipes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 2, pp. 107—114.

About authors:

Oleg A. Prodous — Doctor of Engineering Sciences, Professor, LLC “INCO-expert”. 37/1, lit. A, 1-H, Moskovsky Ave., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; pro@enco.su

Dmitriy I. Shlychkov — Candidate of Engineering Sciences, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ShlyichkovDI@mgsu.ru

Sergey V. Parkhomenko — Deputy Director — Chief Engineer, Capital Construction Department of Mosvodokanal JSC. 2, Pleteshkovsky per., Moscow, 105005, Russian Federation; parhomenko_sv@mosvodokanal.ru

УДК 656.13:502.1

О. П. Радченко, А. П. Поздняков, Д. П. Клочков

Волгоградский государственный технический университет

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОПРЕДПРИЯТИЙ

В статье приводится перечень загрязняющих веществ, находящихся в сточных водах автотранспортных предприятий после обмыва поверхностей автомашин. Определены их состав и количество для автотранспортных предприятий Волгограда. Предлагается внедрение на автотранспортных предприятиях локальных очистных сооружений для сточных вод от мойки подвижного состава, где представляется возможным производить очистку сточных вод с использованием трехполочного адсорбционного аппарата, загрузкой которого является природный сорбционный материал.

Ключевые слова: сточная вода, автотранспорт, автотранспортные предприятия, группы предприятий, загрязняющие вещества, взвешенные вещества, нефтепродукты, очистка сточных вод, оборотное водоснабжение, адсорбционный аппарат, гранулометрический состав осадка, природные сорбенты.

В настоящее время в связи с повышенной техногенной нагрузкой на водный бассейн и увеличивающиеся объемы загрязненных стоков предприятий городской среды, в частности автопредприятий, возрастает необходимость уделять проблеме экологической безопасности повышенное внимание. Наиболее эффективным способом уменьшения степени отрицательного воздействия на экологическое и санитарное состояние природных водоемов является обеспечение условий, повышающих экологическую безопасность предприятий городской среды, которые бы включали комплекс взаимосвязанных мероприятий, решающих одновременно несколько задач, а именно: разработка и внедрение эффективной, доступной по технологическим и стоимостным характеристикам технологии оборотного водоснабжения, обеспечивающей очистку стоков до нормативных показателей с последующим возвратом очищенных вод; создание на предприятии рабочих мест для высококвалифицированных специалистов, отвечающих за решение задач по мониторингу загрязнений в сточных водах и показателей их очистки, владеющих навыками аналитического контроля; эффективная эколого-экономическая оценка технологии, базирующейся преимущественно на оборудовании и материалах отечественного производства¹ [1, 2].

Одним из источников загрязнения водных бассейнов городской среды являются автотранспортные предприятия, которые образуют достаточное количество загрязненных сточных вод в процессе обмыва автотранспорта. Как

¹ Социально-экономические показатели Российской Федерации. 1991—2013.

Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М., 1998. С. 48.

О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты: постановление Правительства Рос. Федерации от 19 дек. 1996 г. № 1504.

показал анализ данных, характерными загрязняющими компонентами сточных вод после мойки автотранспорта являются механические примеси разной степени дисперсности минерального и органического состава, нерастворенные, эмульгированные нефтепродукты, поверхностно-активные вещества (ПАВ), а также ионные примеси, представленные главным образом водорастворимыми минеральными солями² [3, 4].

Зачастую неиспользование систем очистки или эксплуатация неэффективных технологических схем объясняются дороговизной материалов, используемых в системах, что, в свою очередь, отражается на себестоимости всей технологии, используемой для очистки сточных вод³ [5, 6].

Одной из проблем урбанизированных территорий является изменение под влиянием автотранспортных средств свойств окружающей среды. Стимулируя развитие экономики и обеспечивая комфортабельные условия жизнедеятельности людей, автомобильный транспорт одновременно оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду: происходит загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы, нарушаются принципы функционирования экосистем, происходит деградация и потеря устойчивости [7, 8].

Вопрос об экологических проблемах автомобильного транспорта актуален; задачи, а также поиск возможностей внедрения технологий по очистке сточных вод, отвечающих экологической безопасности, становятся первостепенной задачей [9—13].

Автотранспортные предприятия относятся к крупным водопользователям, расходующим воду питьевого назначения на технологические и хозяйственные нужды, в частности на мойку автотранспорта. Потребление воды зависит от производительности предприятия. Для автотранспортных предприятий норматив водопотребления на мойку одного автобуса составляет 0,75 м³ [14], при этом, согласно⁴, ежегодное количество моек для автобусов составляет 90 моек, а удельное водоотведение — 0,6 м³ на один автобус. Таким образом, перемножая количество автобусов автотранспортных предприятий на расход воды на один автобус, получаем огромные объемы сточных вод, сбрасываемых в канализационные сети и при этом зачастую «недоочищенных» до требуемых показателей⁵.

В настоящее время актуальна проблема разработки строительных устройств и технологических схем для группы автотранспортных предприятий и постов мойки автомобилей, и предложение недорогих и надежных материалов для очистки стоков представляется первостепенной задачей⁶.

Делая вывод из вышесказанного, следует отметить, что необходимо не только решение проблем ввода эффективных технологических схем, обеспечивающих высокую степень очистки, но и поиск, предложение и подбор дешевых природных материалов. Это сделает доступным усовершенствование

² Исследование состава стока после мойки грузового автотранспорта и технологическая схема очистки в системе оборотного водоснабжения. Л. : ЛИСИ, 1984. С. 78.

³ ВСН 01-89. Ведомственные строительные нормы предприятия по обслуживанию автомобилей. М., 1989. С. 69.

СНиП 2.04.02-84, 2.04.03-85, 2.04.01-85.

⁴ СанПиН 4630-88.

⁵ СанПиН 2.1.5.980-00.

⁶ ГН 2.1.5.1315-03(ПДК).

имеющихся технологических схем по очистке стоков для крупных предприятий, а более мелкие посты мойки сподвигнет внедрять новые технологии не в ущерб собственному производству⁷.

Вопросами экологической безопасности предприятий занимались отечественные и зарубежные ученые, однако вопросы, связанные с исследованием условий, повышающих экологическую безопасность технологического процесса очистки стоков автопредприятий и внедрения систем оборотного водоснабжения, являются недостаточно проработанными [15].

Так, известна система для очистки технологических сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ, включающая зону отстаивания, зону коалесценции, двухуровневый цилиндрический механический фильтр с большой рабочей поверхностью из олеофильного сорбционного материала, фильтр с плавающей загрузкой, сорбционный фильтр с активированным углем. Слив очищенной воды из сорбционного фильтра с активированным углем происходит в верхней части [16]. Однако недостатком технического решения является низкая эффективность очистки сточных вод, так как для очистки в качестве сорбционного материала используются активированные угли, обладающие низкой сорбционной способностью по отношению к сточным водам, загрязненным нефтепродуктами. Кроме того, активированные угли обладают повышенной горючестью, что также является недостатком.

Известна разработка системы оборотного водоснабжения для мойки автомашин, содержащая технологическое оборудование, включающее в себя накопительную емкость, накопительную емкость для сбора очищенной воды после флотатора, фильтры грубой и тонкой очистки, накопительную емкость для сбора очищенной воды после фильтров грубой очистки, диафрагменный насос и сборник шлама [17]. Однако недостатком данной системы является низкая эффективность работы системы оборотного водоснабжения для мойки автомашин.

Экспериментальные исследования повышения экологической безопасности на автотранспортных предприятиях позволили разработать и предложить систему оборотного водоснабжения, состоящую из горизонтального отстойника, трехполочного адсорбционного аппарата (рис. 1) и накопительной емкости. Технический результат — повышение эффективности работы системы оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий, что обеспечивает повышение экологической безопасности на автопредприятиях.

В системе оборотного водоснабжения для очистки сточных вод от нефтепродуктов используется трехполочный адсорбер, выполненный в виде вертикального цилиндрического корпуса, состоящего из сварной обечайки из листовой стали, с приварными эллиптическими верхним и нижним днищами с входным и выходным отверстиями, люками для технического осмотра и ревизии внутри адсорбера, в корпусе которого выполнены люки для загрузки сорбционного фильтрующего материала. Внутри адсорбера жестко смонтированы три полочки, снабженные прижимными рамами. Полочки выполнены в виде беспровальных решеток и предназначены для засыпки и укладки на них сорбционного материала. В качестве сорбционного материала используется природный алюмосиликатный сорбент различного фракционного состава.

⁷ ГН 1316-03(ОДУ).

Экспериментально установлено, что оптимальным диаметром фракций для сорбционного извлечения нефтепродуктов из сточных вод автотранспортных предприятий являются фракции алюмосиликатного сорбента диаметром 7, 5 и 1...3 мм [18].

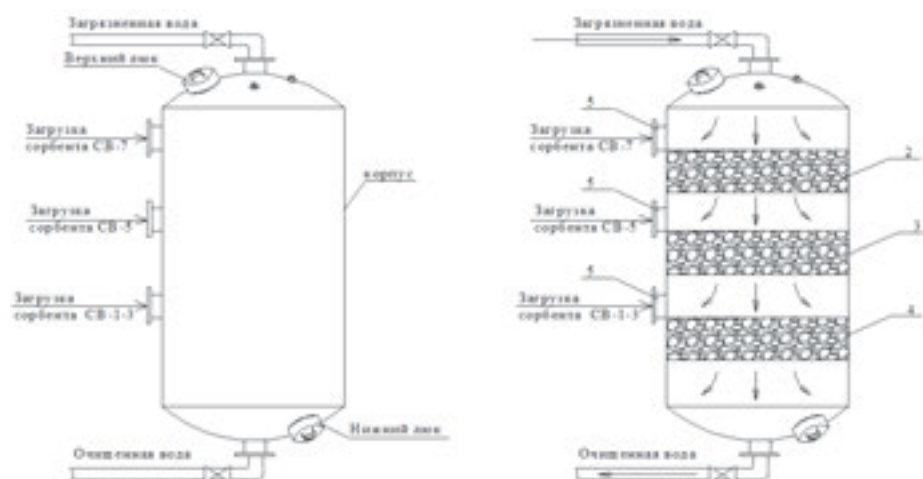


Рис. 1. Трехполочный адсорбер и схема его работы: 1 — корпус адсорбера; 2 — полочка для загрузки сорбента СВ-7; 3 — полочка для загрузки сорбента СВ-5; 4 — полочка для загрузки сорбента СВ-1-3; 5 — люки для загрузки и выгрузки сорбента

При этом на верхнюю полку загружают алюмосиликатный сорбент с диаметром фракций 7 мм, что позволяет очистить после отстойника загрязненную воду от мелкодисперсных взвешенных веществ и нефтепродуктов, после чего очищаемая вода, прошедшая первый этап сорбционной очистки, поступает на второй этап, проходя через слой сорбента, размещенный на средней полке, с диаметром фракций сорбента 5 мм, где происходит дальнейшая очистка загрязненных сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов, затем сточные воды поступают на окончательную доочистку от оставшихся эмульгированных нефтепродуктов, проходя через слой сорбента, размещенный на нижней полке, с диаметром фракций сорбента 1...3 мм.

Полученные экспериментальные данные по степени очистки сточной воды автотранспортного предприятия, прошедшей предварительную механическую очистку в отстойнике и заключительную сорбционную через исследуемый сорбционный материал, постадийно представлены в табл.

Степень очистки сточной воды автотранспортного предприятия, прошедшей предварительную механическую очистку в отстойнике и заключительную сорбционную через опоку, отвечает требованиям для оборотной воды и может быть в 70...75%-м объеме возвращена в оборот.

Экспериментально установлено, что прошедшая через адсорбер сточная вода, загрязненная нефтепродуктами и взвешенными веществами, соответствует требованиям МУ 2.1.5.1183-03 «Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий», ОНТП-01-91 «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий для автомобильного транспорта», СНИП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [2].

Показатели очистки общего стока воды по стадиям

Показатели	Исходная сточная вода, мг/л	Стадия очистки			
		До отстойника	После отстойника	До сорбционной очистки	После сорбционной очистки
Взвешенные вещества, мг/л	1700	1700	5	5	0,5
Эмульгированные нефтепродукты, мг/л	90	90	55	55	СВ-1-3 — 0,83; СВ-5 — 1,33; СВ-7 — 1,67
Запах, балл	5	5	4	4	2
Цвет	Темно- коричневая (до черного)	Темно- коричневая	Светло- коричневая	Светло- коричневая	Бесцветная (прозрачная)
pH	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

Таким образом, применение в системе оборотного водоснабжения адсорбера, позволяющего осуществить три стадии очистки поступающей из отстойника загрязненной нефтепродуктами воды в трехполочном аппарате-адсорбере, с использованием природного алюмосиликатного сорбента с высокой сорбционной способностью, в сравнении с системой оборотного водоснабжения по прототипу с использованием в качестве сорбционного материала активированных углей обеспечивает повышение эффективности работы системы при одновременном ее упрощении, что и является новым техническим результатом.

Предлагаемый адсорбционный аппарат работает следующим образом: загрязненные производственные сточные воды поступают в зону отстаивания — горизонтальный отстойник, где на поверхности воды скапливается основная часть нерастворенных нефтепродуктов в виде пленки, а на дне отстойника в шламонакопителе скапливается осадок, состоящий из взвешенных веществ, с адсорбированными в небольшом количестве (до 3 %) нефтепродуктами. Далее осветленный поток воды движется в трехполочный адсорбер (см. рис. 1). Загрязненная сточная вода в адсорбере движется сверху вниз, проходя последовательно через три сорбционных слоя: верхний с диаметром фракций сорбционного материала 7 мм, средний слой с диаметром фракций сорбционного материала 5 мм и нижний слой с диаметром фракций сорбционного материала 1...3 мм, проходя таким образом три стадии очистки: 1-й этап — грубая очистка сточных вод от мелкодисперсных взвешенных частиц, 2-й и 3-й этапы — тонкая очистка сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов. Очищенная таким образом от нефтесодержащих продуктов вода из адсорбера подается в накопительную емкость для сбора очищенной воды.

По мере загрязнения сорбционного материала нефтепродуктами и мелкодисперсными загрязняющими веществами, преимущественно мелкой пылью, осуществляют промывку сорбционного материала.

Для исследований процесса сорбции загрязнений из сточных вод автотранспортных предприятий использовали фракционный материал — опоку, полученную следующим образом: сначала опоку подвергали дроблению на дробильной машине. Далее фракционный состав минерала отбирали посредством ситового анализа. В данной работе выделяли частицы размером

1...7 мм, оптимальный размер которых для получения наиболее эффективной площади рабочей поверхности применительно к заданному типу сточных вод был определен опытным путем. На рис. 2 приведена схема получения сорбентов.

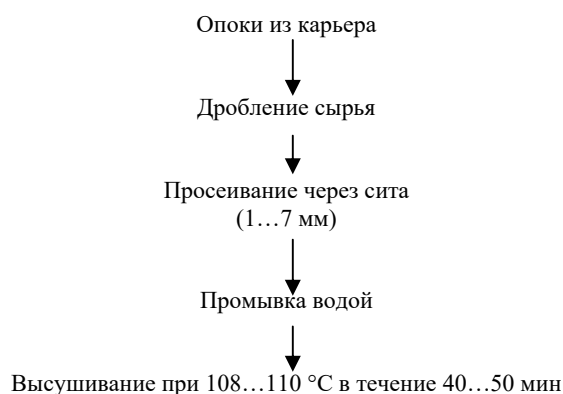


Рис. 2. Получение сорбентов группы СВ с заданным фракционным размером

После прохождения сорбционной очистки вода, которая отвечает нормативам для оборотного водоснабжения, в соответствии с МУ 2.1.5.1183-03 «Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий», подается на мойку автотранспорта. Таким образом, обеспечивается улучшение экологической ситуации при эксплуатации автотранспортных предприятий, расположенных в городской среде [2].

Экспериментально были получены результаты очистки сточной воды автотранспортного предприятия, загрязненной нефтепродуктами и взвешенными веществами.

Из табл. видно, что использование в системе оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий трехполочного адсорбера с использованием в качестве сорбционного материала природного алюмосиликатного сорбента различного фракционного состава обеспечивает повышение эффективности работы системы очистки загрязненных нефтепродуктами сточных вод.

Использование предлагаемой системы оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий удовлетворяет требованиям, предъявляемым к очистке сточных вод, подлежащих повторному использованию. Кроме того, применение природного алюмосиликатного сорбционного материала различного фракционного состава показало, что данный материал сорбирует эмульгированные нефтепродукты со степенью очистки до 99 % [18].

Согласно полученным значениям, приведенным в табл., система оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий позволяет очищать загрязненные сточные воды автотранспортных предприятий до показателей, позволяющих использовать очищенную воду в дальнейшем оборотном цикле водопользования. Исследуемые сорбционные материалы показали высокую степень очистки от преимущественно эмульгированных нефтепродуктов, содержание которых, как показали исследования, в моечных водах автотранспорта превышает требуемые показатели в несколько сотен раз [19, 20].

Таким образом, использование системы оборотного водоснабжения обеспечивает повышение эффективности работы заявляемой системы при осуществлении трех стадий очистки воды в трехполочном аппарате-адсорбере с использованием недорогого природного материала с высокой сорбционной способностью и получение оборотной воды, соответствующей требованиям санитарных норм и правил, очистки до норм ПДК, а также снижение эксплуатационных затрат на очистку сточных вод автотранспортных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елисеєва Т. П., Ежова И. М., Лакирбая И. Д. Исследование воздействия техногенных факторов на окружающую среду с целью обоснования управленческих решений по обеспечению экологической безопасности регионов России // Инженер. вестн. Дона. 2014. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361.
2. Голубев И. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и транспорт. М. : Транспорт, 1987. С. 58.
3. Радченко О. П. Очистка сточных вод на автотранспортных предприятиях // Научная перспектива. 2011. № 10. С. 91—92.
4. Крети́нин В. М. Систематика почв и грунтов города Волгограда // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высш. проф. образование. 2014. № 3(35). С. 25.
5. Fleer G. J., Lyklema J. Polymer adsorption and its effect on the stability of hydrophobic colloids. II. The flocculation process as studied with the silver iodide-polyvinyl alcohol system // J. Coll. a. Int. Sci. 1974. Vol. 46. No. 1. P. 1.
6. Мусаєлян С. М., Сахарова Н. А., Радченко О. П. Математическое моделирование процессов очистки сточных вод и обработки осадков на городских очистных сооружениях канализации // Интернет-вестн. ВолГАСУ. 2012. № 1. С. 71.
7. Мако́лова Л. В. Проблема снижения негативного воздействия транспортной сферы на окружающую среду на основе функционирования механизма избавления от отработанных масел // Инженер. вестн. Дона. 2013. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1763.
8. Zhang Futao, Fang Shaoming. Gongyeshui chuli Ind // Water Treat. 2003. No. 6. Pp. 25—27.
9. Safranek H. Time is running out // Plat. And Surf. Finish. 1988. Pp. 16—20.
10. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов. М. : ACB, 2004. С. 253.
11. Mikula R. J., Munoz V. A. Characterization of Demulsifiers in Surfactants, Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry / Ed. L. L. Schramm. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2000. Pp. 51—78.
12. Daley J. A geological “orrery” could reveal planetary dynamics in deep time // Scientific American. 2019. Apr. 9. Pp. 78—85.
13. Farajzadeh M. A., Monji A. B. Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations // Separ. and Purif. Technol. 2004. Vol. 38. No. 2. Pp. 197—207.
14. The NALCO Water Handbook. Chemical Company / Ed. F. N. Kemmer. McGraw-Hill, 2001. P. 65.
15. Enhanced sonocatalytic degradation of azo dyes by Au/TiO₂ / Y. Shang, D. Zhao, Sh. Ma, C. Chen, J. Zhao // Environmental Science and Technology. 2008. Vol. 42. No. 16. Pp. 173—178.
16. Хомяк Я. В., Скорченко В. Ф. Автомобильные дороги и окружающая среда. Киев : Вища школа, 1983. С. 78.
17. Экологический вестник России. 2001. № 3. С. 50—57.
18. Москвичева Е. В., Радченко О. П., Клочков Д. П. Система оборотного водоснабжения для автотранспортных предприятий : пат. 2712571 Рос. Федерация ; МПК C02F 9/02 (2006.01).
19. Москвичева Е. В., Радченко О. П., Клочков Д. П. Состав сточных вод, образующихся после обмыва автотранспорта на строительных площадках // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1(78). С. 182—189.
20. Радченко О. П., Москвичева Е. В., Клочков Д. П. Оценка степени загрязнения поверхностных сточных вод автотранспортных предприятий города Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 295—303.

© Радченко О. П., Поздняков А. П., Клочков Д. П., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Радченко О. П., Поздняков А. П., Ключков Д. П. Обеспечение условий, повышающих экологическую безопасность автопредприятий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 115—122.

Об авторах:

Радченко Ольга Петровна — учебный мастер каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; olga.radchenko82@mail.ru

Поздняков Андрей Петрович — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Ключков Дмитрий Петрович — канд. техн. наук, доц., преподаватель каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; look_back-in@mail.ru

Ol'ga P. Radchenko, Andrey P. Pozdnyakov, Dmitrii P. Klochkov

Volgograd State Technical University

**PROVISION OF CONDITIONS THAT INCREASE THE ENVIRONMENTAL SAFETY
OF AUTOMOBILE ENTERPRISES**

The article provides a list of pollutants in the wastewater of motor transport enterprises after washing the surfaces of cars. Their composition and quantity for the motor transport enterprises of the city of Volgograd are determined. It is proposed to introduce local wastewater treatment facilities for washing rolling stock at motor transport enterprises, where it is possible to purify wastewater using a three-shelf adsorption apparatus, the loading of which is natural sorption material.

Key words: wastewater, motor transport, motor transport enterprises, groups of enterprises, pollutants, suspended solids, petroleum products, wastewater treatment, circulating water supply, adsorption apparatus, granulometric composition of sediment, natural sorbents.

For citation:

Radchenko O. P., Pozdnyakov A. P., Klochkov D. P. [Provision of conditions that increase the environmental safety of automobile enterprises]. *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], 2022, iss. 2, pp. 115—122.

About authors:

Ol'ga P. Radchenko — Master of Technologies of Construction Operations Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olga.radchenko82@mail.ru

Andrey P. Pozdnyakov — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Dmitrii P. Klochkov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; look_back-in@mail.ru

УДК 628.35

Л. И. Соколов, В. А. Силинский

Вологодский государственный университет

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОКОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРСОДЕРЖАЩИМ РЕАГЕНТОМ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучено влияние хлорсодержащего реагента, полученного электролизом из подземных минерализованных вод, на показатели качества сточной воды. Оценена окислительная способность реагента на завершающей стадии очистки сточных вод целлюлозно-бумажного комбината. Представлены результаты микробиологических исследований по оценке эффективности обработки очищенной сточной воды хлорсодержащим реагентом, полученным из подземных вод.

Ключевые слова: сточные воды, хлорсодержащий реагент, гипохлорит натрия, хлорноватистая кислота, хлорорганические соединения, общее микробное число, колиформные бактерии.

Обеззараживание является важной стадией очистки сточных вод перед сбросом в водоем и обязательной конечной стадией обработки питьевой воды в технологической схеме водоподготовки. Традиционно это осуществляется хлорированием воды — самым распространенным в мире способом обеззараживания благодаря санитарно-эпидемиологической надежности и технологической простоте. Однако хлор является сильнодействующим ядовитым веществом остронаправленного действия и относится ко второму классу опасности. Отрицательное воздействие, которое оказывает хлор на человека и окружающую среду [1, 2], дает исчерпывающую информацию о возможных катастрофических последствиях его применения. В таком случае необходимо иметь реагент, сочетающий положительные качества хлорирования и отсутствие его недостатков. К числу альтернативных хлору реагентов прежде всего относится гипохлорит натрия (ГХН).

В данной работе исследован хлорсодержащий реагент, полученный электролитическим способом из подземных минерализованных вод Вологодской области [3]. В действительности, в работе проводятся исследования влияния различных экспериментальных факторов на выход главного продукта электролиза — окислителя в виде соединений хлора (хлорноватистая кислота HOCl и гипохлорит-ион OCl^-), которые суммарно определяются как активный хлор. Хотя в тексте и в других публикациях авторов для удобства он иногда именуется как ГХН. При этом величина pH среды определяет характер образующихся форм. В зависимости от реакции среды активный хлор в воде находится в трех формах: свободный хлор, хлорноватистая кислота и гипохлорит-ион. Окислительная способность этих форм активного хлора различна. Нормальный окислительно-восстановительный потенциал хлора составляет 1,359 В. В сильнощелочной среде содержатся только гипохлорит-ионы, обладающие относительно небольшим окислительно-восстановительным потенциалом (0,9 В) [4, 5].

Наиболее высокий окислительный потенциал имеет хлорноватистая кислота HOCl (1,5 В), которая в наибольшем количестве присутствует в кислой среде. Однако в этой области в воде присутствует молекулярный хлор, и процесс окисления при этом приводит к образованию продуктов прямого

хлорирования, обладающих неприятным запахом. Именно наличие хлорноватистой кислоты в водных растворах гипохлорита натрия объясняет его сильные дезинфицирующие и отбеливающие свойства [6, 7]. Наивысшая бактерицидная способность гипохлорита проявляется в нейтральной среде, когда концентрации HClO и гипохлорит-анионов ClO^- приблизительно равны [8, 9].

Разложение гипохлорита сопровождается образованием ряда активных частиц, в частности атомарного кислорода, обладающего высоким биоцидным действием. Образующиеся частицы принимают участие в уничтожении микроорганизмов, взаимодействуя с биополимерами в их структуре, способными к окислению [10].

Гипохлорит натрия обладает рядом ценных свойств. Его водные растворы не имеют взвесей и поэтому не нуждаются в отстаивании в противоположность хлорной извести. Применение гипохлорита натрия для обработки воды не вызывает увеличения ее жесткости, поскольку он не содержит солей кальция и магния, как хлорная известь или гипохлорит кальция. Бактерицидный эффект раствора NaClO , полученного электролизом, выше, чем у других дезинфектантов, действующее начало которых — активный хлор. Кроме того, раствор обладает еще большим окислительным действием, чем растворы, приготовленные химическим методом, поскольку содержит больше хлорноватистой кислоты (HClO).

Действие хлора на органические соединения носит избирательный характер. Его действие направлено на изменение структуры некоторых органических веществ с образованием хлорорганических соединений. Присутствие в обработанной хлором воде этих загрязнений определяется дозой внесенного хлора, значением pH среды и временем реакции. Нежелательные побочные продукты образуются главным образом в присутствии свободного хлора, т. е. при дозе хлора свыше критической точки [11, 12].

Целью этой работы было исследовать влияние хлорсодержащего электролитического природного реагента на показатели качества очищаемой сточной воды, включая бактериологические. Исследование проведено на очистных сооружениях канализации (ОСК) г. Сокола Вологодской области, куда поступают сточные воды от ПАО «Сокольский ЦБК» и ООО «Сухонский БК». Объектом исследования явились сточные воды от производства целлюлозы и бумаги.

При производстве целлюлозы и бумаги в сточные воды попадает большое количество минеральных и органических веществ. Например, только в процессе получения волокнистого сырья в раствор переходит 35...1710 кг органических веществ на 1 т волокна. Сточные воды исследованных ЦБК и БК содержат также взвешенное волокно за счет промывов при промыве, сортировании целлюлозы и многократных процессов разбавления и сгущения. Особое место в стоках сульфатно-целлюлозного производства занимают конденсаты выпарного и варочного цехов, в которых почти нет минеральных и взвешенных веществ. Однако в них содержится значительное количество фенолов и сернистых соединений, и они являются максимально токсичными стоками с высоким показателем биологического потребления кислорода.

На исследованных целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК и БК) сточные воды образуются: при приготовлении химических растворов; в процессе варки щепы с химическими растворами; во время промывания целлюлозы; во время отбеливания целлюлозы; во время разливания, прессования и высушивания целлюлозы; во время выпаривания щелочей.

Сточные воды содержат волокна целлюлозы, бумаги, наполнители, красители, латексы, эмульсии, клейкие вещества и др. Они разного цвета, с высоким содержанием взвешенных и органических веществ, специфическим запахом. В технологическом отношении различают кислотный (сульфитный) и щелочной (сульфатный) способы получения целлюлозы. Сульфатный способ обеспечивает возможность получения целлюлозы не только из хвойных, но и из лиственных пород. Характерной особенностью сточных вод, образующихся при сульфатном способе получения целлюлозы, является высокое содержание разнообразных веществ: 33 % — неорганических (натрия сульфат, карбонат и хлорид, свободные щелочи) и 67 % — органических (в том числе: оксикислоты и лактоны — 33 %, фенолы, смоляные и жирные кислоты — 23,65 %, лигнин — 35,7 %, муравьиная кислота — 1 %, уксусная кислота — 0,7 %). Сточные воды сульфит-целлюлозного производства содержат 10 % неорганических и 90 % органических веществ. Среди неорганических веществ наиболее распространены лигнинсульфоновые кислоты (48,4 %), моносахариды (30,4 %), полисахариды и продукты распада сахаров (15,8 %), смолы, белки (2,9 %) , уксусная кислота (2,5 %).

Источниками органических веществ в сточных водах исследованных ЦБК и БК являются разведенные щелочи, а также продукты деструкции целлюлозы, образующиеся во время ее отбеливания и переработки. Эти вещества принадлежат к разным классам химических соединений: алифатические и терпеновые углеводы, ароматические углеводы фенольного ряда и др.

На исследованных ОСК г. Сокола применяется биологический метод, включающий 6-ступенчатую схему очистки: камера смешения, решетки, песколовки, преаэратор, первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники.

Обычно для заключительной стадии биологической очистки сточных вод используется обеззараживание, чаще всего используют хлорирование (в течение 30 мин), озонирование и обработку ультрафиолетовым излучением. Однако на исследованных ОСК эта стадия обработки воды не реализована. Несмотря на то, что хлорирование до сих пор является самым распространенным методом обеззараживания, данному методу присущи и некоторые ограничения в применении, например:

- в результате хлорирования в обрабатываемой воде могут образоваться хлорорганические соединения (ХОС);
- традиционные способы хлорирования в некоторых случаях не являются барьером на пути проникновения ряда бактерий и вирусов в воду;
- хлорирование воды, проводимое в больших масштабах, вызвало широкое распространение резистивных к хлору микроорганизмов;
- растворы хлорсодержащих реагентов коррозионно-активны, что порой является причиной быстрого износа оборудования.

В принципе следующие промышленные процессы, связанные с применением хлора, могут привести к образованию полихлорированных дибензо-п-диоксинов:

- процессы получения хлорфенолов и продуктов на их основе;
- процессы получения замещенных хлорбензолов;
- синтез алифатических хлорпроизводных;
- процессы с хлорсодержащими промежуточными продуктами;

- процессы в неорганической хлорной промышленности;
- процессы с применением хлорированных катализаторов и растворителей.

Установлено наличие диоксинов при отбеливании целлюлозы и бумаги в количествах порядка нг/кг [13], а также при хлорировании питьевой и сточной воды в количествах порядка пг/кг [14]. Получение одной тонны отбеленной целлюлозы хлорированием вносит в природу до 1 г диоксинов и сотни грамм их предшественников. Аналогичным путем диоксины образуются при обеззараживании хлором сточной воды, содержащей фенольные вещества и лигнины.

При взаимодействии хлора с аммиаком, присутствующим в сточной воде, образуется реакционноспособное вещество — хлорамин (моноклорамин). Атом хлора в этом соединении достаточно активен. Он воздействует на микроорганизмы, производя дезинфекцию сточной воды. Такой активный хлор называют в специальной литературе связанным. Однако окислительная способность связанного хлора приблизительно в два раза меньше, чем свободного активного хлора, т. е. хлорноватистой кислоты и гипохлорит-ионов. Теоретически для получения моноклорамина требуется на 1 мг аммонийного азота 5,07 мг хлора. Практически хлора берут с избытком до 6 мг. Хлор образует в сточных водах моноклорамин NH_2Cl при pH 8,5. При pH 4,4 идет образование дихлораминов NHCl_2 . В пределах pH 8,5 и 4,4 могут образовываться как моно-, так и дихлорамины. При уменьшении pH ниже 4,4 возможно образование треххлористого азота. Аммонийные соединения хлора менее токсичны. Среднесмертельной концентрацией моноклорамина для радужной форели является концентрация 0,8 мг/л. Хлорид аммония, попадающий в водоем со сточными водами, вызывает гибель карпов, раков и беспозвоночных при концентрации 1,2 мг/л, более чувствительных рыб — при 0,4 мг/л [15].

Методика эксперимента

В исследованиях по обеззараживанию стоков реагентом, полученным электролитически из подземных минерализованных вод, использовали реальные очищенные сточные воды. Отбор проб сточной воды производился на выпуске ОСК г. Сокола Вологодской области. Для сравнения обеззараживанию также подвергались пробы речной воды в дозировках реагента и условиях, принятых для сточной воды. Отбор проб речной воды производился в створе водозабора очистных сооружений водопровода на реке Вологде. Температура речной воды при отборе составляла +2 °С. Пробы помещались в изотермическую сумку-холодильник и в течение часа доставлялись в химическую лабораторию объединенных ОСК г. Сокола для проведения исследований. При отборе пробы очищенные сточные воды имели температуру +7 °С и в течение 10 мин доставлялась на анализ в химическую лабораторию ОСК. Затем пробы сточной и речной воды, находящиеся в герметичной таре, помещались в холодильник и находились там до востребования (не более трех суток) при температуре +4 °С.

Для проведения эксперимента по обеззараживанию проб сточной и речной воды был получен природный хлорсодержащий реагент. Его получение выполнялось путем электролиза минеральных подземных вод с содержанием хлоридов 20 г/л на экспериментальной установке ГПХН-20-Ц, имеющей титановые электроды. Продолжительность получения электролитического хлорсодержащего реагента составляла 40 мин при силе тока 6А в ячейке непроточного типа объемом 1 л. По завершении процесса электролиза произво-

дились замеры с пятикратной повторяемостью концентрации активного хлора в готовом продукте, которая составила 7 г/л.

Для оценки эффективности обеззараживания были взяты 13 проб очищенных сточных вод ($t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) и 13 проб речной воды ($t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Далее производилось дозирование полученного электролизного хлорсодержащего реагента в подготовленные пробы, имеющие нумерацию: № 1 — речная вода без добавления реагента, № 2 — речная вода с добавлением дозы реагента 2 мг/л, № 3 — речная вода с добавлением реагента 5 мг/л, № 4 — речная вода с добавлением реагента 12 мг/л, № 5 — сточная вода без добавления реагента, № 6 — сточная вода с добавлением дозы реагента 2 мг/л, № 7 — сточная вода с добавлением реагента 5 мг/л, № 8 — сточная вода с добавлением реагента 12 мг/л. Также были подготовлены и пронумерованы пробы для бактериального анализа: № 1—13 речной воды и пробы № 14—26 очищенной сточной воды, где № 1 и № 14 — это пробы без добавления реагента, пробы № 2—13, № 15—26 — с дозированием реагента в концентрациях 1...12 мг/л. Дозирование реагента в пробы проводилось с помощью мерных пипеток в стеклянные мерные колбы объемом 500 мл, перемешивание проводилось с применением многопозиционной магнитной мешалки MMS4pro (1500 об./мин, 4*500 мл) в течение 3 мин. После смешения проб с обеззараживающим реагентом они выстаивались 5 мин при комнатной температуре, затем проводился анализ показателей качества водных растворов. Замеры значений pH проводились в лабораторных условиях на поверенном pH-метре (pH-150МИ). Все анализы показателей качества исследуемых вод и растворов проводились в аккредитованной химической лаборатории объединенных ОСК г. Сокола. Пробы, подготовленные для бактериального анализа, были помещены в стерильные стеклянные емкости объемом 0,5 л и переданы бактериологу. Для достоверности результатов анализа каждая из проб имела тройную повторяемость при анализе. Бактериологический анализ проводился бактериологом аккредитованной лаборатории ОСК по двум основным показателям: общему микробному числу (ОМЧ) и содержанию общих колиформных бактерий (ОКБ).

Результаты исследования

Показатели качества исходной сточной воды (до очистки биологическим способом) на исследованных очистных сооружениях представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
 Показатели качества сточной воды ОСК г. Сокола

Показатель	Результат
Нефтепродукты	0,09 мг/л
ХПК	65...400 мг O_2 /л
Фосфат-ион	0,19...0,48 мг/л
Взвешенные вещества	63 мг/л
Фенол	0,022...0,048 мг/л
pH	7,4...7,7
Метанол	0,38...5,55 мг/л
Формальдегид	0,096 мг/л
Лигнинсульфоновые кислоты	81...105 мг/л
БПК ₅	56 мг O_2 /л
Аммоний-ион	9,56...14,55 мг/л

Бактериологический анализ очищенных сточных вод показал сплошной рост общего числа микроорганизмов (ОМЧ). К ОМЧ отнесены мезофильные аэробы и факультативные анаэробы, способные образовывать на питательном агаре колонии, видимые при увеличении в два раза при температуре 37 °С в течение 24 ч (ОМЧ 37 °С) и при температуре 22 °С в течение 72 ч (ОМЧ 22 °С). Подсчет был невозможен из-за слишком многочисленного роста, что и было зафиксировано в протоколе результатов исследований. После обработки очищенной сточной воды электролитически полученным из подземных вод хлорсодержащим реагентом наблюдалось резкое снижение ОМЧ и числа общих колиформных бактерий (ОКБ) (рис. 1 и 2).

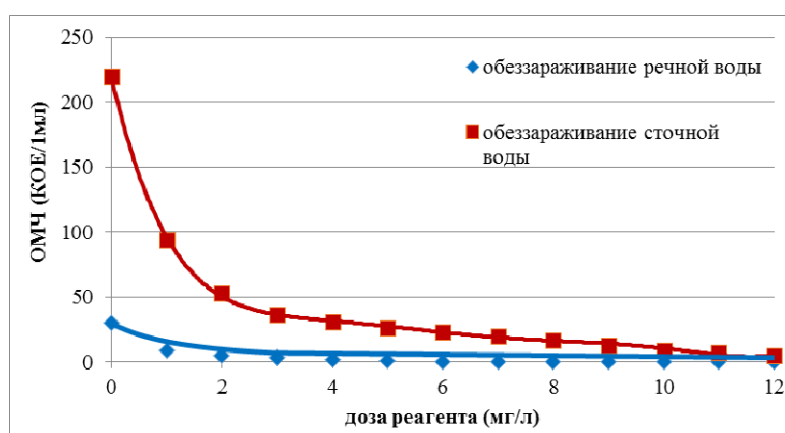


Рис. 1. Результаты микробиологических исследований (ОМЧ) по оценке эффективности обработки очищенной сточной воды хлорсодержащим реагентом, полученным из подземных вод

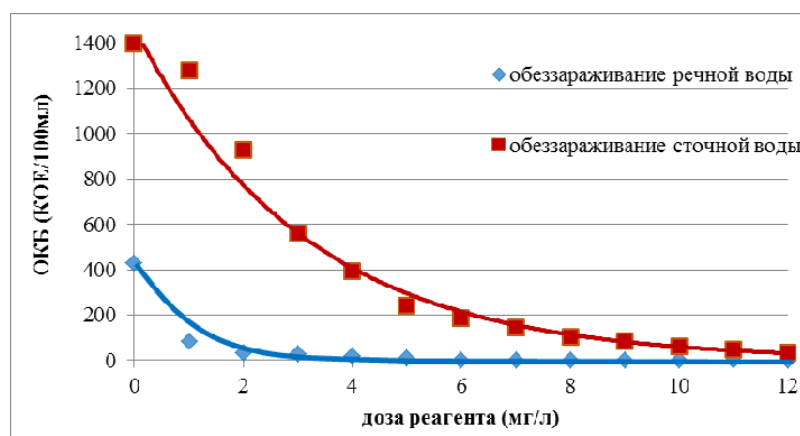
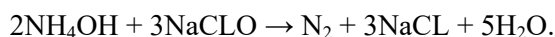


Рис. 2. Результаты микробиологических исследований (ОКБ) по оценке эффективности обработки очищенной сточной воды хлорсодержащим реагентом, полученным из подземных вод

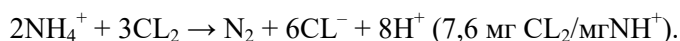
После очистки сточная вода имела следующие показатели: ХПК = 65 мг/л, БПК₅ = 29 мг/л. После обработки хлорсодержащим реагентом (при концентрациях 2 мг/л и 12 мг/л) значения ХПК и БПК₅ соответственно

возросли до 80 мг/л и 360 мг/л (по ХПК) и 40 мг/л и 120 мг/л (по БПК₅). Формальдегида — на 19 % и 135 %. Эффект снижения содержания лигносульфоновых кислот после обеззараживания соответственно составил 60 % и 86 %, фенола — 23 % и 66 % (при воздействии хлора на фенол образуются моно-, ди- и трихлорфенолы, при этом атомы хлора в молекулах этих соединений не реакционноспособны). Содержание ионов аммония снизилось на 4 % и 10 % соответственно. Реакция окисления в этом случае протекает в соответствии со следующим уравнением:



В проведенном «холостом» эксперименте (хлорид аммония + дистиллированная вода при соотношении $\text{NH}_4^+ : \text{NaClO} = 2 : 3$) максимальная степень удаления ионов аммония составила в отсутствие органических соединений ~ 97 % (минимальная остаточная концентрация ~ 1 мг/л). Анализ полученных данных позволяет заключить, что оптимальными условиями проведения реакции окисления, определяющими наибольшую эффективность удаления ионов аммония, являются: pH не ниже 7...8; избыток гипохлорита не более 3 % масс.

Общая реакция взаимодействия аммонийного азота с хлором сложная и многостадийная, с образованием моно-, ди- и трихлораминов при недостатке свободного хлора (продукты неполного окисления органики хлорноватистой кислотой) и описывается в конечной стадии следующим образом:



Установлено (рис. 3), что в разбавленных водных растворах в границах pH = 7,4...8,1 при соотношениях между хлором и аммиаком не более как 4,5 : 1 образуются только очень стойкие в этих условиях монохлорамины, разлагающиеся при подкислении среды. Итак, по ходу хлорирования в сточных водах, содержащих аммиак, при соотношении азота аммиака и хлора 1 : 5,07 (по стехиометрии) образуются монохлорамины; по мере уменьшения содержания в воде аммиака вследствие связывания его с хлором соотношение азота аммиака и хлора изменяется в сторону снижения, доходя до 1 : 10, причем монохлорамины переходят в дихлорамины.

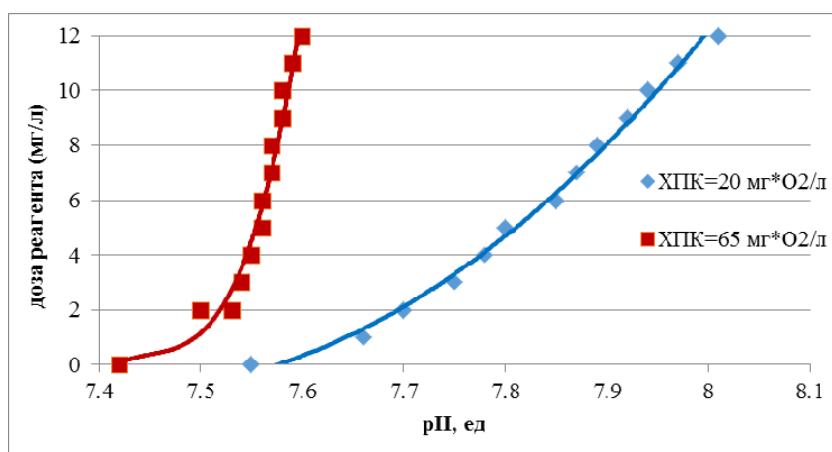


Рис. 3. Влияние дозы реагента на pH при различных ХПК

Реакция нитритов и хлорноватистой кислоты заканчивается окислением нитритов до нитратов (NO_3^-) с закислением среды:



Этим объясняется снижение концентрации нитрит-ионов в эксперименте на 15...20 % (рис. 4).

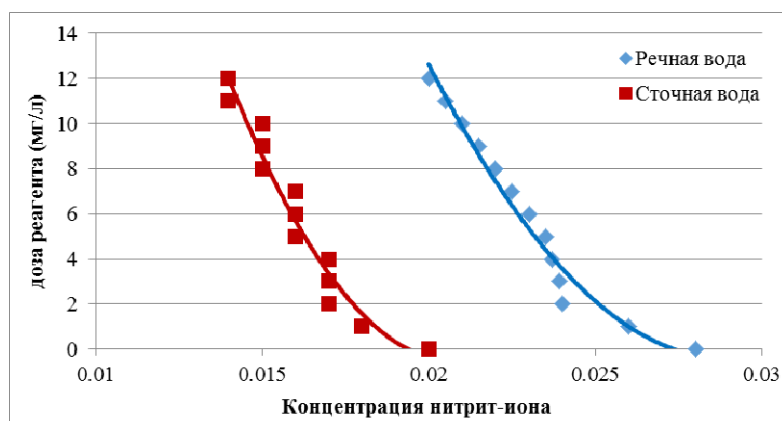


Рис. 4. Изменение концентрации нитрит-иона в речной и сточной водах при различных дозах хлорсодержащего реагента

Как показал эксперимент, при использовании исследуемого хлорсодержащего реагента для обеззараживания сточной воды образуются ХОС, увеличивающие показатели ХПК и БПК, при этом меняются показатели качества обрабатываемых сточной и речной вод (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость показателей качества воды от дозы реагента по активному хлору

Показатель	Доза обеззараживающего реагента по активному хлору, мг/л					
	Речная вода			Сточная вода		
	0	2	12	0	2	12
ХПК	20	25	25	65	80	360
Аммоний-ион	0,85	0,7	0,5	9,56	9,12	8,62
Нитрит-ион	0,028	0,024	0,02	0,02	0,017	0,014
Нитрат-ион	2	2,3	3	0,8	1,3	1,9
Фосфат-ион	0,14	0,08	0,07	0,48	0,42	0,38
Сульфат-ион	47	66	76	25	21	22
Хлорид-ион	10,3	23,6	186	41	52	242
Фенол	0,0025	0,002	0,001	0,048	0,037	0,016
Метанол	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,55	4,08	3,08
Формальдегид	0,02	0,027	0,067	0,180	0,215	0,423
Железо	0,35	0,19	0,15	0,89	0,69	0,47
Лигнинсульфоновые кислоты	2	< 1	< 1	105	42	15
БПК ₅	8	12	15	29	40	120

К органическим веществам, ответственным за образование ХОС, относятся оксосоединения, имеющие одну или несколько карбонильных групп, находящихся в орто-, параположении, а также вещества, способные к образованию карбонильных соединений при изомеризации, окислении или гидролизе. К таким веществам можно отнести и нефтепродукты, хотя в стоках исследованного предприятия их содержание не превышало 1 г/л.

Основные концентрации ХОС образуются на этапе первичного хлорирования воды при введении хлора в очищаемую сточную воду. В хлорированной реагентом сточной воде целлюлозно-бумажного производства обнаружено свыше 20 различных ХОС. Наиболее часто отмечается присутствие опасных тригалометанов (ТГМ) и четыреххлористого углерода. При этом количество хлороформа обычно на 3...5 порядков превышает содержание других ХОС. Хлорорганические соединения в воде определяли методом газожидкостной хроматографии. Процесс образования ХОС довольно сложен, растянут по времени до нескольких часов и зависит от многих факторов: дозы хлора, концентрации в воде органических веществ, продолжительности контакта, температуры, величины рН воды, щелочности (табл. 3 и рис. 5).

Т а б л и ц а 3

*Образование ХОС в пробах очищенной сточной воды
 с добавлением различных доз дезинфектанта*

Доза реагента, мг/л	0	2	3	5	12
Ph, ед.	7,42	7,53	7,54	7,56	7,6
ХПК, мг/л	65	80	94	130	360
С _{ХОС} , мкг/л	86,4	128,1	163	281	1491,5

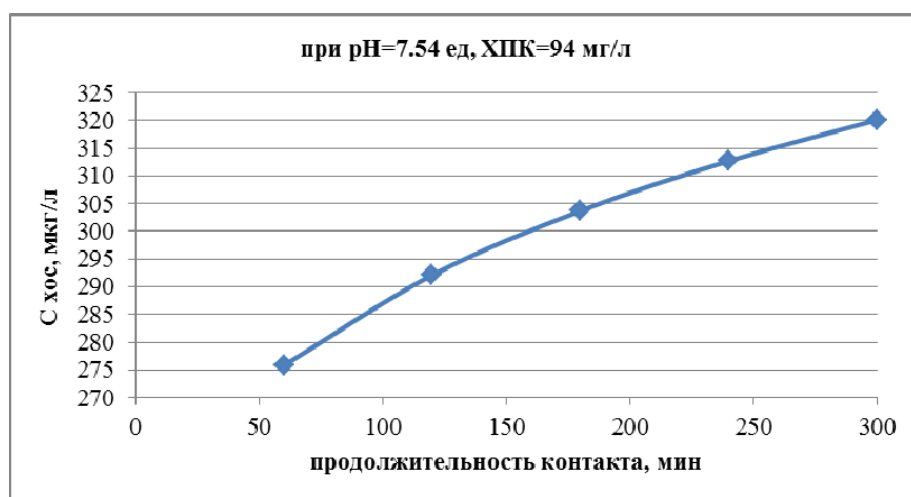
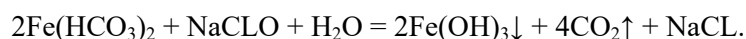


Рис. 5. Влияние качества воды и условий ее обеззараживания на процесс образования ХОС от продолжительности контакта с реагентом (при дозе активного хлора 7,54 мг/л)

В исследуемых очищенных сточных водах также присутствует железо в концентрациях 0,89...0,92 мг/л. Его концентрация снижалась после воздейст-

вия хлорсодержащего реагента (12 мг/л по активному хлору) до 0,47 мг/л. Растворенное железо в воде характеризуется подавляющим присутствием его двухвалентной формы в виде бикарбоната $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Бикарбонат железа был устойчив в сточной воде в отсутствии окислителей и в условиях нейтральной или щелочной среды. Окисление бикарбоната двухвалентного железа гипохлоритом натрия с нерастворимого гидроксида железа описывается уравнением



Гидроксид трехвалентного железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ коагулирует, переходит в оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, выпадает в осадок бурыми хлопьями и может быть отфильтрован при доочистке. Применение гипохлорита натрия не вызывает подкисление воды. Так как гипохлорит натрия — это раствор хлора при $\text{pH} > 9$, который диссоциирует в воде с образованием хлорноватистой кислоты и щелочи NaOH , введение которой оказывает подщелачивающее действие с одной стороны, а с другой нарушает химическое равновесие (изменяет pH и концентрацию компонентов). В отличие от гипохлорита натрия введение активного хлора не вызывает изменение pH , а следовательно, и не влияет на бактерицидную активность окислителя. Еще один недостаток гипохлорита натрия — очень высокая коррозионная активность. Этот фактор нужно учитывать при подборе дозирующих насосов, материалов, контактирующих с гипохлоритом, и допустимых концентраций водных растворов гипохлорита натрия. Трудности эксплуатации дозирующего разбавленный водой гипохлорит натрия оборудования связаны с образованием в трубопроводах осадков гидроксида магния и оксида кремния и кальцинации точек ввода — инжекторов и диффузоров.

Таким образом, было изучено влияние хлорсодержащего реагента, полученного электролизом из подземных минерализованных вод, на показатели качества сточной воды целлюлозно-бумажного производства (показаны рост ХПК, БПК, опасность образования хлорорганических соединений) и установлена высокая дезинфицирующая способность реагента на завершающей стадии очистки сточных вод. Результатами исследования подтверждены эффекты снижения содержания формальдегида — на 19...135 %, лигносульфоновых кислот — на 60...86 %, фенола — на 23...66 %, ионов аммония — на 4...10 %, железа — на 51 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Variable chlorine decay rate modeling of the Matsapha town water network using EPANET program / A. T. Tiruneh, T. Y. Debessai, G. C. Bwembya, S. J. Nkambule, L. Zwane // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. Vol. 11. No. 1. Pp. 34—41.
2. Hileman B. Cancer risk found from water chlorination // *Chem. and Eng. News*. 1992. Vol. 70. No. 28. Pp. 7—8.
3. Соколов Л. И., Силинский В. А. Характеристика дезинфектанта, полученного из подземных минерализованных вод, по технологическим и санитарно-гигиеническим показателям // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2021. № 1. С. 28—38.
4. Фесенко Л. Н., Денисов В. В., Скрыбин А. Ю. Дезинфектант воды — гипохлорит натрия: производство и применение : моногр. / Под ред. В. В. Денисова. Новочеркасск : Лик, 2012. 237 с.
5. Технический справочник по обработке воды. М. : ДеГремон, 2005. С. 1111—1113.
6. Sokolov L., Silinsky V., Kolobova S. Sodium hypochlorite production from salted groundwater // *Journal of Applied Chemical Science International*. 2021. Vol. 12. No. 1. Pp. 17—26. URL: <https://www.ikprress.org/index.php/JACSI/article/view/6476>.

7. Abbasian M., Sattari A. Cell voltage and chlorine current efficiency of aqueous HCl electrolysis: artificial neural network modelling // Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. 2013. Vol. 8. No. 1. Pp. 178—188. DOI: 10.1002/apj.1660.
8. Anaokar G. S., Khambete A. K., Christian R. A. Evaluation of a performance index for municipal wastewater treatment plants using MCDM — TOPSIS // International Journal of Technology. 2018. Vol. 9. No. 4. Pp. 715—726. URL: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i4.102>.
9. Basudan S. Sodium hypochlorite use, storage, and delivery methods: a survey // Saudi Endodontic Journal. 2019. Vol. 9. No. 1. Pp. 27—33.
10. Drinking water source and chlorination byproducts in Iowa. III. Risk of brain cancer / K. P. Cantor, C. F. Lynch, M. E. Hildesheim, M. Dosemeci, J. Lubin, M. Alavanja, G. Craun // American Journal of Epidemiology. 1999. Vol. 150. No. 6. Pp. 552—560.
11. Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants / M. C. Collivignarelli, A. Abbà, I. Benigna, S. Sorlini, V. Torretta // Sustainability. 2018. Vol. 10. No. 1. P. 86.
12. Effect of storage temperature and heating on the concentration of available chlorine and pH of 2.5 % sodium hypochlorite / T. Dash, R. P. Mohan, Y. Mannava, M. S. Thomas, N. Srikanth // Saudi Endodontic Journal. 2017. Vol. 7. No. 3. Pp. 161—165.
13. Findings of US EPA Paper industry cooperative dioxin study — The 104 mill study, in Dioxin 90 — EPR Seminar / D. Anderson, G. Heath, J. Helms, H. D. Kahn, M. D. Smith, R. Williams (O. Hutzinger, H. Fiedler, Herausgeb.). Vol. 3. Bayreuth : Ecoinforma Press, 1990. Pp. 207—210.
14. Formation of PCDDs and PCDFs by the chlorination of water / C. Rappe, S. E. Swanson, B. Glas, K. P. Kringstad, P. de Sousa, Z. Abe // Chemosphere. 1989. Vol. 19. Pp. 1875—1880.
15. Antibacterial effect of sodium hypochlorite gel and solution on Enterococcus faecalis / P. Nejad Shamsi, L. Atash Biz Yeganeh, B. Vadiati Saberi, K. Parast Forghan, A. Taghavi Kashan // 3DJ. 2017. Vol. 6. No. 1. Pp. 27—30.

© Соколов Л. И., Силинский В. А., 2022

Поступила в редакцию
в феврале 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Соколов Л. И., Силинский В. А. Обеззараживание стоков целлюлозно-бумажного производства хлор-содержащим реагентом из минеральных подземных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 123—134.

Об авторах:

Соколов Леонид Иванович — д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный университет. Российская Федерация, 160000, г. Волгода, ул. Ленина, 15; sokolovli@mail.ru

Силинский Виктор Алексеевич — аспирант, Волгоградский государственный университет. Российская Федерация, 160000, г. Волгода, ул. Ленина, 15

Leonid I. Sokolov, Viktor A. Silinskiy

Vologda State University

DISINFECTION OF PULP AND PAPER PRODUCTION EFFLUENTS WITH CHLORINE-CONTAINING REAGENT FROM MINERAL GROUNDWATER

The effect of a chlorine-containing reagent, obtained by electrolysis from underground mineralized waters on wastewater quality indicators, was studied. The oxidizing ability of the reagent at the final stage of wastewater treatment of a pulp and paper mill was evaluated. The results of microbiological studies to assess the effectiveness of treatment of treated wastewater with a chlorine-containing reagent obtained from groundwater were presented.

Key words: wastewater, chlorine-containing reagent, sodium hypochlorite, hypochlorous acid, organochlorine compounds, total microbial number, coliform bacteria.

For citation:

Sokolov L. I., Silinskiy V. A. [Disinfection of pulp and paper production effluents with chlorine-containing reagent from mineral groundwater]. *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], 2022, iss. 2, pp. 123—134.

About authors:

Leonid I. Sokolov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vologda State University. 15, Lenina st., Vologda, 160000, Russian Federation; sokolovli@mail.ru

Viktor A. Silinskiy — Postgraduate student, Vologda State University. 15, Lenina st., Vologda, 160000, Russian Federation

УДК 544.6:628.345

В. Т. Фомичев, Г. П. Губаревич, А. В. Савченко, И. А. Куликова

Волгоградский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА НА ИМПУЛЬСНОМ ТОКЕ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ПРОМЫВНЫХ ВОД

Проведены исследования влияния импульсного тока на снижение содержания ионов железа (II), цинка, хрома (III) и хрома (VI) при электрокоагуляционной очистке промывных сточных вод гальванического хромирования. Показано влияние переменного тока с обратным импульсом различной длительности и амплитуды на pH раствора и пассивацию анода в ходе электрокоагуляции; применение импульсного тока снижает удельный расход электроэнергии по сравнению с постоянным током в полтора-два раза.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрокоагуляция, нестационарный электролиз, очистка сточных вод, импульсный ток.

Проблема охраны окружающей среды от промышленного загрязнения является одной из важнейших экономических и социальных задач, решение которых направлено на обеспечение воспроизводства и рационального использования ресурсов. Проблема сохранения природных ресурсов, в том числе водной среды, может быть решена путем внедрения безотходных технологических процессов.

При строительстве машиностроительных предприятий, в состав которых входят гальванические участки, уже на стадиях проектирования учитывается характер обработки деталей, при этом обязательно проектируется технологическая линия очистки промышленных стоков.

В современных гальванических производствах используется широкая номенклатура технологических процессов, связанных с использованием воды, потребление которой составляет до 12 % свежей воды от общего ее расхода промышленностью. Основная масса промышленных стоков не может быть сброшена в городскую систему канализации или в водоем без предварительной очистки на локальных очистных сооружениях [1, 2]. Сточные воды разделяются на промывные и отработанные концентрированные растворы, переработка которых представляет собой трудоемкий процесс [3, 4].

Учитывая современную тенденцию контроля экологического воздействия промстоков на окружающую среду, необходимо исследовать технологические методы очистки загрязненной воды, позволяющие свести к минимуму их вредное воздействие.

Определенным и существенным резервом в технологии очистки сточных вод является использование электрического тока [5].

Методы электрообработки позволяют успешно очищать сточные воды от примесей различного состава и дисперсности [6, 7].

Среди наиболее перспективных методов использования электрического тока особое значение имеет очистка воды электрокоагуляцией [8], которая позволяет исключить расход реагентов, повторно использовать очищенную воду.

Несмотря на очевидные преимущества, метод электрокоагуляции нуждается в интенсификации: необходим поиск эффективных мер по снижению пассивации анодов, зашламления электродов, поддержание в межэлектродном объеме условий, предотвращающих образование нерастворимых соединений [9]. Перспективным направлением является использование для питания электрокоагуляторов импульсного тока. Использование метода электрокоагуляции позволяет уменьшить загрязнения ионами тяжелых металлов, а также позволяет утилизировать ценные компоненты, например соли тяжелых металлов [10, 11], возвращая их в технологический процесс и применяя для нужд других отраслей промышленности. Варьируя форму, амплитуду и частоту тока, можно управлять электрохимическим процессом электрокоагуляции [12—15].

Для практического применения метода необходимо определить расположение электрокоагулятора в гальванической линии, установить оптимальные режимы работы.

Объектами исследования выбраны промывные сточные воды, содержащие ионы тяжелых металлов Fe(II), Fe(III), Zn(II), Cr(VI). Одной из задач наших исследований было определение оптимальных параметров импульсного тока, позволяющих повысить эффективность работы установки за счет увеличения скорости очистки, снижения электрозатрат и увеличения ресурсных характеристик электродов.

Определение влияния резонансной частоты импульсного тока для очистки промывных сточных вод гальванического производства проводилось по схеме (рис. 1), основным элементом которой является электролизер из оргстекла, анод — железо, катод из нержавеющей стали.

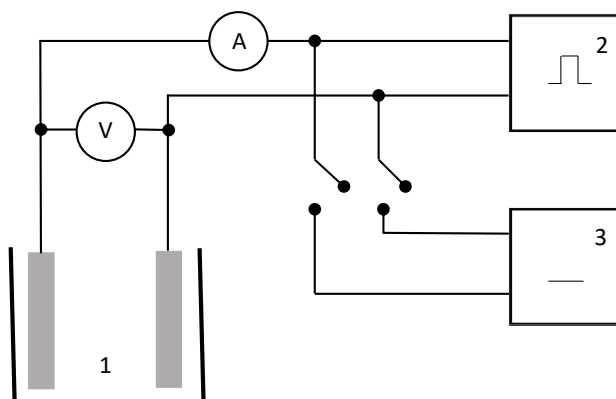


Рис. 1. Схема установки для определения резонансной частоты: 1 — электрокоагулятор; 2 — источник регулируемого импульсного тока; 3 — источник постоянного тока

Нами получены экспериментальные данные о влиянии модифицированного импульсного тока промышленной частоты с обратным импульсом с различной его длительностью и амплитудой при скважности 2 в интервале плотностей тока $0,6 \dots 1,5 \text{ А/дм}^2$ с электродами железо-сталь на процесс очистки сточных вод. Длительность импульса составляла $T/2$ и $T/4$, соотношение амплитуд катодного и анодного тока в импульсе — 1 : 1, 1 : 2 и 1 : 4 соответственно.

Для определения эффективности использования периодического тока при работе электролизера первоначально исследовано электрохимическое поведение железного анода под действием постоянного тока. Для этого получена поляризационная кривая растворения железа в модельном растворе $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией 1 г/л (рис. 2). Кривая имеет четыре характерных участка: I — область активного растворения, II — переходная область из активного состояния в пассивное, III — область пассивации, IV — область анодного выделения кислорода.

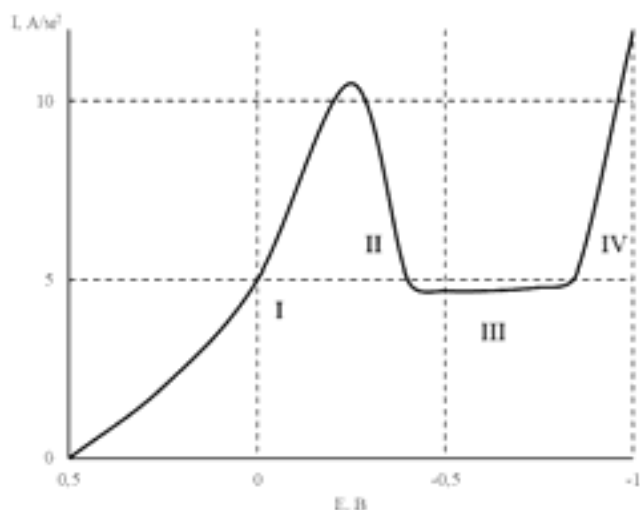


Рис. 2. Анодная поляризационная кривая растворения железа в растворе $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией 1 г/л при $\text{pH} = 2,85$

Учитывая, что в работе применялся не постоянный ток, а различные формы и частоты импульсного тока, были определены величины смещения потенциалов анодного и катодного процессов (рис. 3, 4). Известно [16], что «размах» величины потенциала между его максимальным и минимальным значениями несет информацию о соотношениях анодных и катодных составляющих импульсов. Эти данные позволяют объяснить наблюдаемое увеличение скорости анодного растворения железа. С увеличением соотношения амплитуд анодного тока к катодному и уменьшением длительности импульсов катодный потенциал смещается в область менее отрицательных, а анодного — в область более положительных значений. Как видно из рис. 3, при соотношении $I_a / I_k = 4$, длительности импульсов $T/2$ и средней плотности тока 1 A/дм^2 значение катодного потенциала $-0,5 \text{ В}$, анодного $+1,12 \text{ В}$. Уменьшение длительности импульсов до $T/4$ при тех же значениях плотности тока, катодный потенциал более отрицателен: $-0,63 \text{ В}$, анодный — более положителен: $+1,3 \text{ В}$. Такой перепад потенциалов при изменении параметров питающего электрокоагулятора тока позволяет, как показали вышеприведенные данные, активно, только электрическим путем управлять процессом электрокоагуляции.

В случае использования нерастворимого анода, при максимальных и минимальных значениях потенциала в импульсе, который соответствует

плотностям тока с растворимым анодом, наблюдается уменьшение размаха потенциала: значения катодного менее отрицательны, анодного — менее положительны (см. рис. 4).

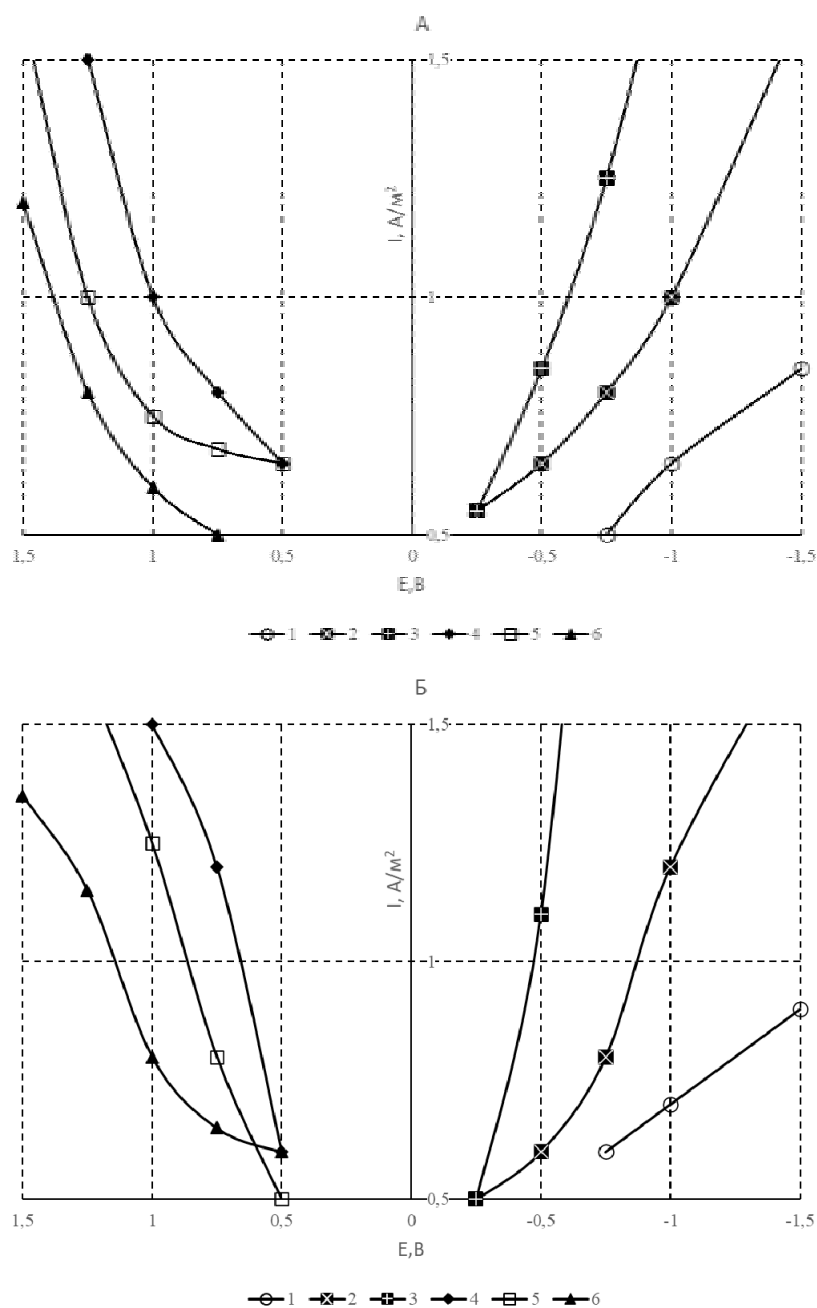


Рис. 3. Минимальное (1, 2, 3) и максимальное (4, 5, 6) значения потенциалов в импульсе: а — длительность импульсов тока $\tau = T/4$; б — $\tau = T/2$ (T — длительность периода). Цифры у кривых обозначают соотношение амплитуд катодного и анодного тока: 1, 4 — 1 : 1; 2, 5 — 1 : 2; 3, 6 — 1 : 4. Анод — железо

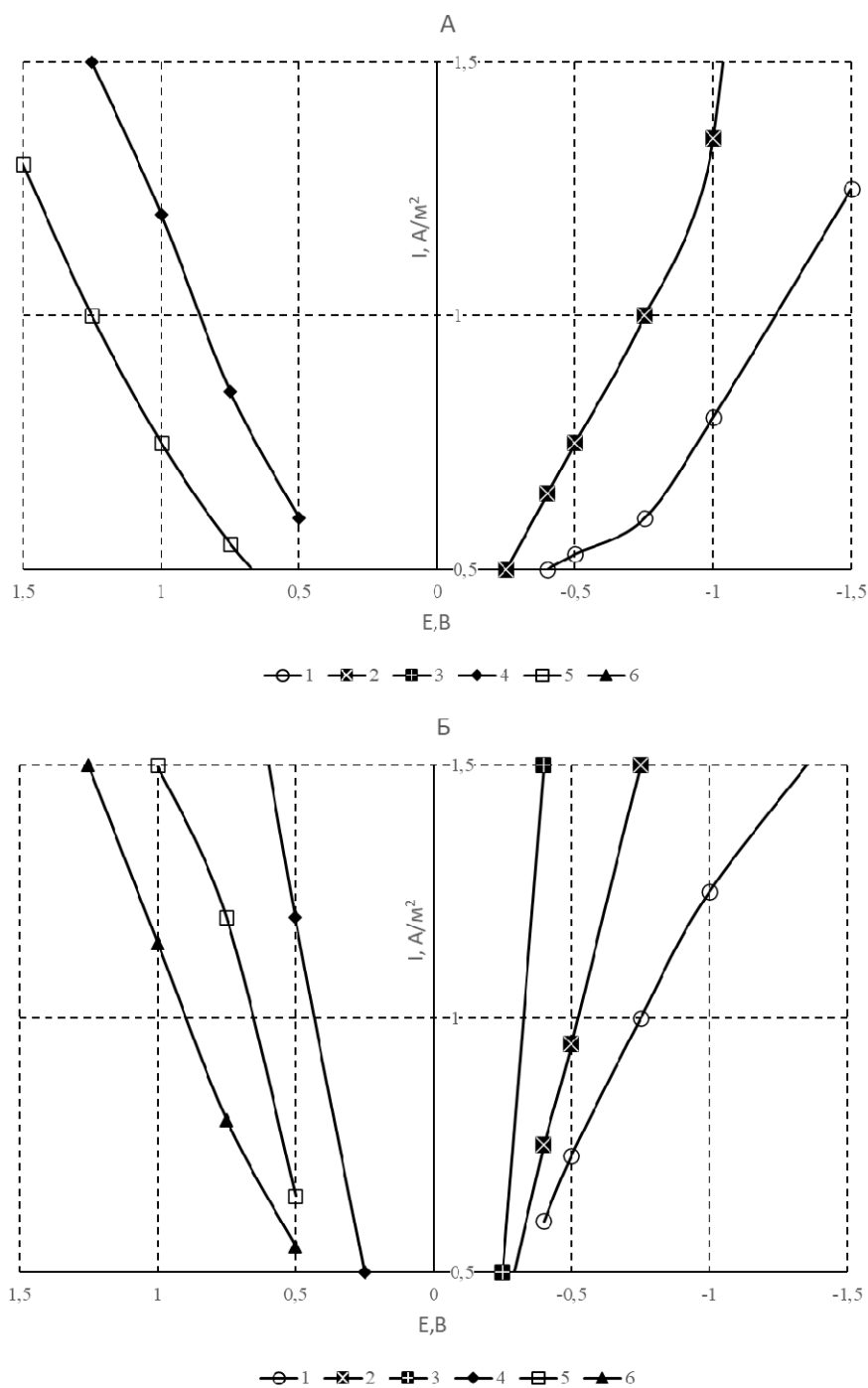


Рис. 4. Минимальное (1, 2, 3) и максимальное (4, 5, 6) значения потенциалов в импульсе: а — длительность импульсов тока $\tau = T/4$; б — $\tau = T/2$ (T — длительность периода). Цифры у кривых обозначают соотношение амплитуд катодного и анодного тока: 1, 4 — 1 : 1; 2, 5 — 1 : 2; 3, 6 — 1 : 4. Анод угольный

Следовательно, при использовании нерастворимых анодов необходимо или увеличивать плотность тока, или уменьшать длительность импульсов при увеличении соотношения I_a / I_k для повышения эффективности процесса электрокоагуляции.

Таким образом, использование периодического тока в процессе электрокоагуляции позволяет эффективнее очищать промывные воды. При этом водородный показатель прикатодного слоя на постоянном токе выше, чем на переменном. Перенос ионов водорода и гидроксид-ионов изменяет pH и у поверхности мембраны. Это явление нежелательно при электродиализе, так как при определенных значениях водородного показателя образуются гидроокиси, которые осаждаются на поверхности и порах мембраны, снижая ее производительность* [17—23]. Установлено, что проведение электродиализа на импульсном униполярном токе позволяет активно влиять и на образование осадков. Так, pH примембранного слоя при повышении плотности тока от 1,0 до 4,0 А/дм² на резонансной частоте изменяется на 0,5...0,8 единицы, тогда как на других частотах и на постоянном токе — на 2...5 единиц (рис. 5).

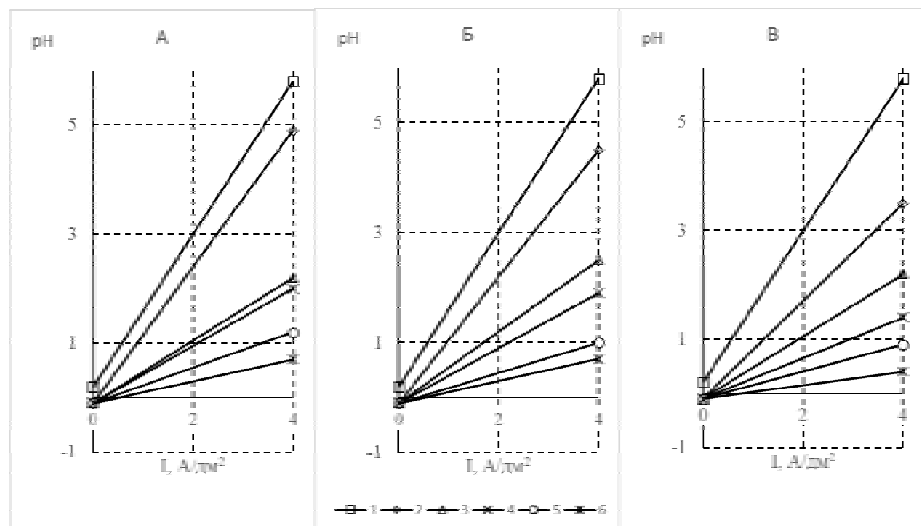


Рис. 5. Изменение pH примембранного слоя в зависимости от плотности тока I_{cp} , А/дм², при скважности импульсов: а — 2; б — 5; в — 10; 1 — постоянный ток; 2, 3, 4, 5 — импульсный ток произвольной частоты; 6 — импульсный ток резонансной частоты

Увеличение доли катодного импульса приводит к закономерному возрастанию величины pH. Уменьшение длительности импульсов с $T/2$ до $T/4$ приводит к появлению между импульсами бестоковой паузы, во время которой возможно выравнивание концентраций и, как следствие, менее интенсивное изменение кислотности.

Таким образом, изменяя частоту и скважность импульсного тока, можно регулировать величину pH примембранного слоя и тем самым активно влиять на процесс осадкообразования на мембранах.

* Филичук В. Л. Применение электрохимического изменения величины pH и Eh для очистки сточных вод гальванических производств от ионов тяжелых металлов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1981. 15 с.

Накопление ионов железа в растворе, увеличение массы осадка, образовавшегося в ходе процесса, а также повышенная скорость растворения анода указывают, что процесс электролиза в данном случае протекает быстрее, при этом достигается большая степень очистки промывной воды, загрязненной ионами железа (табл.).

Химический состав очищенных вод

Примеси, загрязняющие сточные воды	Концентрация примесей в сточной воде при электролизе на постоянном токе, мг/л	Концентрация примесей в сточной воде при электролизе на импульсном токе, мг/л
Cr^{3+}	0,83	0,43
Cr^{6+}	0.067	Не обнаружено
Fe^{2+}	Не обнаружено	Не обнаружено
Zn^{2+}	2,5	1,72
pH	7,9	6,8

Время, затраченное на очистку на постоянном и импульсном токе, составило 1 и 0,25 ч, затраты электроэнергии 16,85 и 6,98 Вт · ч/м³ соответственно.

Выводы:

1. Использование импульсного тока в процессах обработки сточных вод гальванических производств позволяет уменьшить концентрацию тяжелых металлов.
2. Увеличение скважности импульсов в процессах с растворимым анодом приводит к снижению скорости растворения анода.
3. Использование переменного тока с обратным импульсом различной длительности и амплитуды позволяет активно влиять на pH растворения и пассивации анода в ходе электрокоагуляции.
4. Применение импульсного тока позволяет снизить удельный расход электроэнергии по сравнению с постоянным током в полтора-два раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Найдено В. В., Кулакова А. П., Скирдов И. В. Методы оптимального проектирования систем очистки сточных вод // Водоснабжения и санитарная техника. 1984. № 1.
2. Воловник Г. И., Коробко М. А. Электрохимическая очистка воды. Хабаровск : ДВГУПС, 2002. 350 с.
3. Липовецкий Я. М. Электрохимические способы очистки питьевых и сточных вод. М. : ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1985.
4. Воловник Г. И. Теоретические основы очистки воды. Хабаровск : ДВГУПС, 2000. Ч. 1.
5. Гребенюк В. Д., Соболевская Т. Т., Махно А. Г. Состояние и перспективы развития методов очистки сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. 1989. № 5. С. 407—421.
6. Бушков В. Н., Варенцов В. К. Разработка основных положений электрохимической технологии регенерации металлов из промывных растворов гальванических производств // Электрохимия и охрана окружающей среды : сб. тез. докл. Всесоюз. науч. конф. Иркутск, 1984. С. 11.
7. Staupe T., Schmidt W. Zur Anwendung Elektrodialyse auf die Trennung von Schwermetallkomplexen // Forschungsber Landes Wordlein. Westfalen. 1981. № 3078. Vol. IV. S. 525.
8. Назарян М. М., Ефимов В. Т. Электрокоагуляторы для очистки промышленных стоков. Харьков : Вища школа, 1983. 142 с.

9. Слипченко А. В., Максимов В. В., Кульский Л. А. Современные малоизнашивающиеся аноды и перспективы развития электрохимических технологий водообработки // Химия и технология воды. 1993. Т. 15. № 3. С. 180—231.
10. Наркевич И. П., Печковский В. В. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ. М. : Химия, 1984. 240 с.
11. Запольский А. К., Образцов В. В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. Киев : Техника, 1989. 199 с.
12. Костин Н. А., Кублановский В. С., Заблудовский В. А. Импульсный электролиз. Киев : Наукова думка, 1989. 168 с.
13. Фомичев В. Т., Вурдова Н. Г., Губаревич Г. П., Савченко А. В. Использование импульсного электрического тока в технологии очистки сточных вод от примесей // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. № 2(83). С. 97—103.
14. Винник А. Ф., Бойко А. В., Слюсарская Т. В. Некоторые вопросы теории и практики импульсного электролиза // Прикладная электрохимия. Теория, технология и защитные свойства гальванических покрытий. Казань : Казан. хим.-технол. ин-т, 1991. С. 31—35.
15. Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В. Очистка хромосодержащих вод электродиализом в нестационарном режиме // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1(78). С. 190—195.
16. Pesko A. M., Chen H. Y. Theory and applications periodicheskiy electrolysis // Mod. Aspekts Elektrochem. 1989. No. 19. Pp. 251—258.
17. Озеров А. М., Кривцов А. К., Хамаев А. Н. Нестационарный электролиз. Волгоград : Нижне-Волжское изд-во, 1972. 160 с.
18. Sarradzin J. Le developpement industriel contemporain des membranes échangeuses d'ions // Bull. Union Phys. 1986. No. 688. Pp. 1427—1447.
19. Mathematical description and method of calculating the technological parameters of an electrodiagnosis apparatus for chemical industrial wastewater treatment / K. V. Shestakov, S. I. Lazarev, Y. T. Selivanov et al. // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Vol. 56. No. 1-2. Pp. 53—58. DOI: 10.1007/s10556-020-00738-3.
20. Marder L., Sulzbach G. O., Bernardes A. M., Zoppas Ferreira J. Removal of cadmium and cyanide from aqueous solutions through electrodiagnosis // Journal of the Brazilian Chemical Society. 2003. Vol. 14. No. 4. Pp. 610—615. DOI: 10.1590/S0103-50532003000400018.
21. Al-Saydeh S. A., El-Naas M. H., Zaidi S. J. Copper removal from industrial wastewater: a comprehensive review // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2017. Vol. 56. Pp. 35—44. DOI: 10.1016/j.jiec.2017.07.026.
22. Recent development of chitosan nanocomposites for environmental applications / S. A. Khan, S. B. Khan, T. Kamal et al. // Recent Patents on Nanotechnology. 2016. Vol. 10. No. 3. Pp. 181—188. DOI: 10.2174/1872210510666160429145339.
23. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: a review / R. Shrestha, S. Ban, S. Devkota et al. // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021. Vol. 9. No. 4. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105688.

© Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В., Куликова И. А., 2022

Поступила в редакцию
в феврале 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В., Куликова И. А. Применение электродиализа на импульсном токе в технологии очистки сточных промывных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 135—143.

Об авторах:

Фомичев Валерий Тарасович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; valerifomichev@yandex.ru

Губаревич Галина Павловна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ggubarevich@mail.ru

Савченко Алексей Владимирович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; savtchenko2@mail.ru

Куликова Ирина Александровна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; artem8448@inbox.ru

Valerii T. Fomichev, Galina P. Gubarevich, Aleksei V. Savchenko, Irina A. Kulikova

Volgograd State Technical University

APPLICATION OF PULSE CURRENT ELECTRODIALYSIS IN THE TECHNOLOGY OF WASTE WASH WATER PURIFICATION

Investigations of the influence of pulsed current on the reduction of the content of iron (II), zinc, chromium (III) and chromium (VI) ions during electrocoagulation treatment of washing wastewater of electroplating chromium plating were carried out. The effect of an alternating current with a reverse pulse of various duration and amplitude on the pH of dissolution and passivation of the anode during electrocoagulation is shown; the use of pulsed current reduces the specific power consumption in comparison with direct current by one and a half to two times.

Key words: electrocoagulation, non-stationary electrolysis, wastewater treatment, pulsed current.

For citation:

Fomichev V. T., Gubarevich G. P., Savchenko A. V., Kulikova I. A. [Application of pulse current electrodialysis in the technology of waste wash water purification]. *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], 2022, iss. 2, pp. 135—143.

About authors:

Valerii T. Fomichev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; valerifomiche@yandex.ru

Galina P. Gubarevich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ggubarevich@mail.ru

Aleksei V. Savchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; savtchenko2@mail.ru

Irina A. Kulikova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; artem8448@inbox.ru

УДК 551.58(470.45)

С. Н. Торгашина, Е. А. Чернобай, В. Д. Косовцев

Волгоградский государственный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Среди многих доступных способов использования солнечной энергии два являются наиболее пригодными для использования в области архитектуры. Согласно первому способу, солнечная энергия поглощается солнечным коллектором и используется для подогрева воды (или другой жидкости), которая затем может использоваться либо непосредственно для домашних нужд или отопления, либо для охлаждения. Согласно другому способу, солнечная энергия усваивается непосредственно конструкцией здания и, таким образом, используется только в целях отопления помещений. Оба способа основаны на том, что стекло пропускает коротковолновое излучение, а длинноволновое не пропускает. Технология солнечных коллекторов — это технология отопления, в то время как второй способ, использующий так называемый парниковый эффект, в большей степени затрагивает принципы архитектуры [1].

К л ю ч е в ы е с л о в а: солнечная облученность, организация жилой застройки, солнечный коллектор, гелиоархитектура, климатические характеристики, микроклимат, комплекс физических характеристик солнечного излучения.

Гипотетическое решение «идеального» в гелио- и теплотехническом отношении солнечного дома показано на рис. 1. Такой дом имеет максимум солнечной облученности, минимум тепловых потерь, но совершенно непригоден для жилья.

Трансформация этой схемы приводит к компромиссному решению (рис. 2), в котором уже учтены утилитарные требования строительной светотехники, обеспечена визуальная связь дома с окружающей средой и возможность применения традиционных конструкций.

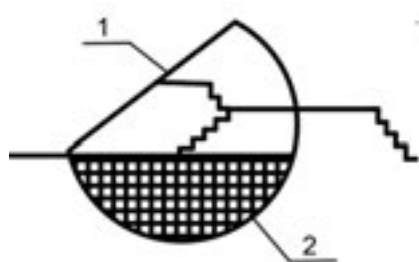


Рис. 1 «Разрез» солнечного дома (максимальная площадь и оптимальный наклон солнечного коллектора, минимальная необлучаемая площадь ограждений): 1 — коллектор; 2 — аккумулятор тепла

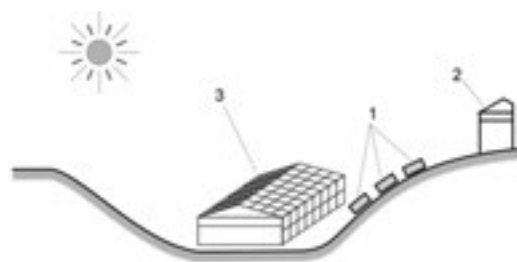


Рис. 2. Схема солнечного дома с компромиссным решением компоновки энергоактивных конструкций и созданием необходимых удобств для обитателей: 1 — коллектор; 2 — здание; 3 — теплица

Виды гелиотеплиц, служащих для подогрева дома, многообразны. Они могут даже становиться для дома «второй оболочкой», быть пристраиваться к уже существующему дому, могут быть взаимосвязаны с домом и считаться

такой же частью дома, как и все другие помещения. Функция гелиотеплицы заключается в том, чтобы подогревать поступающий с улицы воздух перед подачей его в жилые помещения. Воздух из гелиотеплицы поступает в жилые помещения или путем принудительной вентиляции при помощи термических датчиков, или естественным путем конвекции.

В данной гелиотеплице крыша и три стены покрываются стеклом. Северную часть здания предлагается сделать из строительного материала (газобетонных блоков), который обладает хорошей теплоемкостью и будет выполнять функцию аккумулятора тепла; также этой частью строения может выступать хозяйственная пристройка, дом, гараж или даже забор.

Архитектура солнечных зданий отражает суть научных идей из области гелиотехники. Для здания весьма важна его ориентация. По аналогичным причинам важны также и соотношения его длины, высоты и ширины. Здание оптимальной формы теряет в окружающую среду минимальное количество тепла и получает максимум тепла от солнца зимой.

Эффект заключается в увеличении облученности здания, защите его от северных ветров и улучшении микроклимата. Для данного способа использования солнечной энергии характерна ориентация основных помещений на юг (рис. 3).

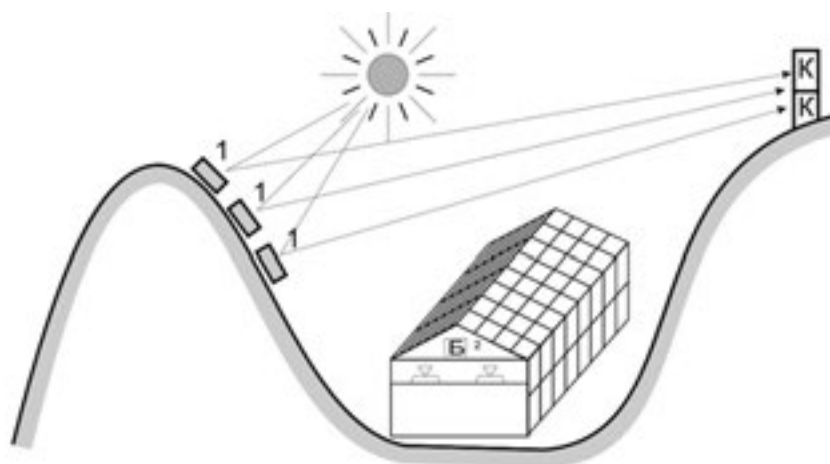


Рис. 3. Схема солнечного дома: 1 — экран-отражатель; 2 — бак-аккумулятор

В летний период года, когда активность солнца наиболее высока и характеризуется наиболее высокими показателями прямой солнечной радиации, эффективно использовать «активные» системы утилизации солнечной энергии. Они, имея высокий КПД преобразования энергии, позволяют использовать солнечное тепло с сезонным хранением утилизированного тепла. Особенности эксплуатации и способ преобразования солнечной энергии при использовании «активных» систем позволяют выделить следующие их конструктивные решения и приемы размещения их в структуре жилого здания и застройки:

- плоские солнечные коллекторы, размещаемые на оболочке здания;
- системы, использующие отдельно стоящие плоские коллекторы.

Активные системы, использующие отдельно стоящие коллекторы, представляют собой устройства, размещенные отдельно от зданий, которые они обслуживают. В широком смысле это понятие включает коллекторы, которые связаны со зданием, но не встроены в его ограждающие конструкции — крыши или стены. Применение коллекторов с автономным их расположением вызвано тем, что конструкции многих зданий непригодны для установки солнечного коллектора. Однако следует отметить, что применение отдельно стоящих коллекторов может быть эффективно и экономически выгодно только в том случае, когда большая площадь аккумулирующей поверхности сочетается с сезонным хранилищем тепла, позволяя использовать нагретую в летний период года воду для отопительных потребностей в межсезонный период — осень. Размещение отдельно стоящих коллекторов было бы эффективно на неудобных для организации жилой застройки территориях. Например, на южных склонах оврагов и балок, вдоль транспортной магистрали, где вытянувшиеся вдоль проезжей части коллекторы могли бы одновременно выполнять функции шумозащитного экрана. Местом размещения сезонного хранилища может быть подземное пространство под зданием или непосредственно под местом размещения солнечных коллекторов. Подземное размещение хранилища объясняется значительным снижением теплопотерь при заглублении контейнера в землю.

Высокая активность солнечной радиации в летний период на территории Волгоградской области раскрывает широкие возможности для применения «активных» систем с сезонным хранилищем тепла. Накопленное в летний период тепло может использоваться для отопительных потребностей в межсезонный период (осень), а при наличии дублирующего газонагревателя — и в зимний период года. Как показали результаты исследований, «активные» системы с сезонным хранилищем дают около 60 % экономии тепловой энергии. Учитывая то, что с перемещением на юг наблюдается увеличение солнечной активности, применение подобных систем в Волгограде может дать экономический эффект значительно выше. Недостатком «активных» солнечных систем является сезонность при эксплуатации и высокая первоначальная стоимость.

Более универсальным и многофункциональным с точки зрения взаимодействия с внешней средой является пассивный способ преобразования солнечной энергии, хотя слово «пассивный» не совсем удачно, так как происходящие при использовании этого способа процессы нельзя считать пассивными. Наоборот, они весьма активны, динамичны и непрерывно изменяются, подобно тому, как это наблюдается в природе.

Практика формирования гелиоархитектуры показывает, что важное значение в этом вопросе имеет комплексный учет климата, основанный на получении исходных климатических характеристик предполагаемого региона строительства [2, 3].

Анализ климатического материала позволяет дать оценку климатических условий и получить типологические рекомендации, которые направлены на выявление перспектив развития систем солнечного теплоснабжения в Волгоградской области.

Волгоградская область относится к климатическому подрайону IIIa с резко континентальным климатом степей и полупустынь Нижнего Поволжья

и Казахстана [4]. Область находится на юго-востоке Русской равнины, на границе сухих степей и полупустынь Прикаспийской низменности, вдали от обширных водных пространств и океанов. Поэтому здесь наблюдается жаркое продолжительное лето, суровая малоснежная зима, недостаток атмосферных осадков [4, 5].

Исходные климатические характеристики [5] и составленные на их основе графики оценки погодных условий позволяют выделить следующие типы погоды и их процентные соотношения:

- теплая погода составляет 62 дня, или 17 %;
- комфортная погода составляет 121 день, или 33 %;
- прохладная погода составляет 31 день, или 8 %;
- холодная погода составляет 151 день, или 42 %.

Приведенные типы погоды и их процентное соотношение позволяют выявить типологическую сущность жилых и общественных зданий в Волгоградской области, а также определить, когда и для каких целей можно использовать солнечную энергию. Если обозначить типы погоды первой буквой, то погода города Волгограда может быть описана формулой 5X1П4K2Т, что означает: 5 месяцев холодной погоды, когда существует необходимость защиты жилища от переохлаждения; 1 месяц с прохладной погодой, при которой также требуется защита от переохлаждения; 2 месяца теплой погоды, здесь, наоборот, требуются мероприятия, направленные на защиту от излишних теплопоступлений извне, которые вызывают перегрев жилых помещений; 4 месяца комфортной погоды, при которой климатозащитная функция архитектуры не требуется.

В свете раскрытия возможностей использования солнечного излучения в качестве источника тепловой энергии необходим учет поступления солнечной энергии на различно ориентированные поверхности¹.

Эффективность выбора систем солнечного энергоснабжения определяется комплексом физических характеристик солнечного излучения. Для технических расчетов пользуются среднегодовыми показателями, из которых выводятся средние величины для каждого часа дня и месяца.

Эти величины определяются отдельно для горизонтальных и различным образом ориентированных вертикальных поверхностей. Пользуясь такими данными, можно получить соответствующие значения эффекта радиации для каждого часа дня.

В Волгограде продолжительность солнечного излучения составляет 2245 ч в год. Больше всего в июле — 330 ч при средней продолжительности солнечного сияния в 11 ч; меньше всего в декабре — 40 ч при средней продолжительности солнечного сияния в 3,3 ч. Число дней без солнца в году 77 [5]. Прямая солнечная радиация, поступающая в июле: на горизонтальную поверхность 635 Вт/м² за сутки; на вертикальную поверхность восточной и западной ориентации при безоблачном небе 295 Вт/м²; 1000 Вт/м² — на вертикальную поверхность южной ориентации при безоблачном небе².

Прямое излучение — это солнечный свет. Его интенсивность и продолжительность имеют решающее значение для солнечной инженерии. Они

¹ URL: <http://www.altenergo-nii.ru/renewable/solar>.

² Там же.

контролируются постоянными измерениями, в результате которых вычисляется их средняя величина³.

Рассеянное излучение — это результат прохождения солнечных лучей через атмосферу. Оно по-разному распределяется по всему полушарию и во многих отношениях слабее, чем прямое излучение. Тем не менее оно может быть использовано с целью обогрева. Даже в облачный зимний день в Центральной Европе рассеянное излучение дает 50...300 Вт/м². Рассеянное излучение не имеет определенной ориентации, оно происходит по всем направлениям⁴.

Интенсивность излучения зависит от расстояния до источника излучения и от угла падения солнечного излучения. Во внешних пределах атмосферы интенсивность солнечного излучения равна 1394 Вт/м². Около поверхности Земли можно принять среднюю величину 635 Вт/м². В очень ясный солнечный день эта величина колеблется от 950 до 1220 Вт/м²; 1000 Вт/м² — примерное среднее значение⁵.

Рассмотренные показатели режима солнечной радиации позволяют сделать вывод о наличии достаточно высокой энергетической активности солнца на широте Волгограда, что определяет возможность использования солнечного излучения в качестве дополнительного источника энергии.

Микроклимат естественного ландшафта оценивается для получения характеристик конкретного участка или района города с пересеченным рельефом, когда имеет смысл выявить разницу в микроклимате.

Особенности растительного покрова и рельеф местности, на котором располагается Волгоград, не придают ему живописности, характерной для городов северного Поволжья. Однако здесь есть ряд природных особенностей ландшафта, которые создают благоприятные возможности для внедрения систем солнечного теплоснабжения в строительную практику.

Одной из таких особенностей ландшафта является изрезанность в поперечном направлении городской и пригородной территории множеством оврагов и балок, которые, протянувшись с запада на восток, создали гряду холмов, имеющих для организации жилой застройки южную и юго-восточную ориентацию, наиболее благоприятную для развития гелиоархитектуры. Это объясняется тем, что южные склоны получают тепла от солнечной радиации на 4...8 % больше, чем на ровном месте. Средняя суточная температура почвы выше, а влажность меньше, чем на северных склонах. Они защищены от неблагоприятных на территории Волгоградской области северо-восточных ветров. Перечисленные факторы способствуют повышению экологических качеств подобных территорий и формированию застройки, способной эффективно использовать солнечную энергию для удовлетворения коммунально-бытовых потребностей [6].

На основании вышесказанного авторами предлагается рассмотреть вопрос строительства концептуальных коттеджных поселков (рис. 4), учитывая три взаимосвязанных понятия: комфортный микроклимат, максимальное использование энергии природы и оптимизация энергетических элементов здания как единого целого⁶.

³ Там же.

⁴ Там же.

⁵ Там же.

⁶ URL: http://www.eclsrion.com/sites/default/files/npgpm2014_engl.pdf.

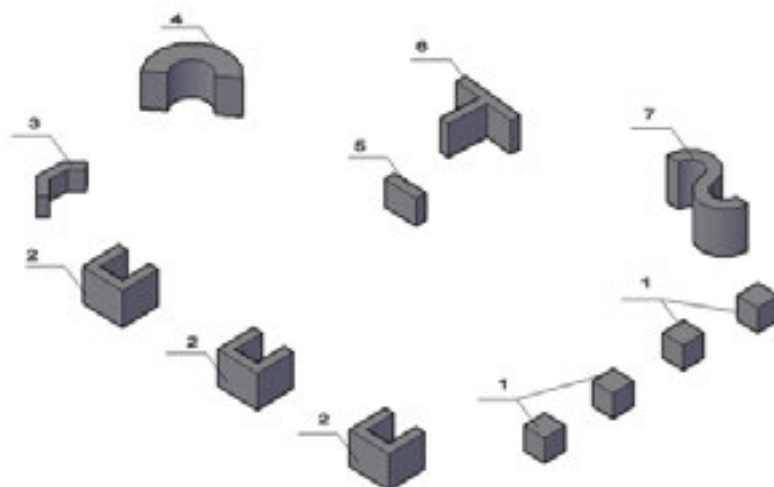


Рис. 4. Концептуальный коттеджный поселок: 1 — одноэтажные жилые дома; 2 — двухэтажные жилые дома; 3 — школа; 4 — торговый центр; 5 — аптека; 6 — садик; 7 — котельная

Основными принципами архитектурно-планировочной организации жилых зданий и поселений [7] с гелиосистемами теплоснабжения можно назвать следующие:

- принцип ориентированности — ярко выраженное построение структуры зданий и их элементов с южной ориентацией;
- принцип климатоформирования — создание переходной тепловой зоны между внешней и внутренней средой с целью снижения тепловой нагрузки и улучшения микроклимата;
- принцип интеграции — совмещение элементов гелиосистем с архитектурными или конструктивными элементами зданий.

Мы сознаем все недостатки солнечной энергии: нерегулярность поступления, огромное рассеивание, что делает необходимым сравнительно большую поглощающую поверхность и, наконец, трудности, связанные с проблемой аккумулирования. Однако список преимуществ также велик: солнечные коллекторы могут быть построены всюду без всяких распределительных систем; энергия эта доступна практически везде, использование солнечной энергии не приводит к загрязнению окружающей среды⁷ [8, 9] (табл.).

*Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу
в период эксплуатации котельной*

Вещество	Значение критерия, мг/м ³	Класс опасности	Выброс веществ	
			г/с	т/год
Азота диоксид	0,085	2	0,0368	0,3488
Оксид азота	0,4	3	0,006	0,05668
Углерода оксид	5,000	4	0,15954	1,5105
Бензапирен	0,000001	1	0,3e-06	0,29e-06

⁷ Global Status Report. URL: <http://www.ren21.com/gsr>.

KPMG Global Review. URL: <https://home.kpmg/xx/en/home/insights.html>.

Для успешного продвижения систем солнечного теплоснабжения необходима разработка технических решений и применение новых материалов, обеспечивающих при высоком качестве и долговечности снижение стоимости 1 м² солнечного коллектора. Повышение энергетической эффективности здания происходит тогда, когда соответствующие решения сопровождаются определенными стоимостными эффектами, которые рассчитываются исходя из количества сопоставлений по каждому энергосберегающему мероприятию. Это сопоставление следует проводить по крайней мере по сроку окупаемости и экологичности системы. Эколого-экономическую оценку работ можно выразить через платеж за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу:

$$\Pi = C_i \cdot M_i,$$

где i — вид загрязняющего вещества; C_i — ставка платы за выбросы 1 т загрязняющего вещества; M_i — расчетный выброс загрязняющего вещества, т.

Архитектурная выразительность, как правило, сочетается с конструктивным совершенством, с экономической, экологической и социальной сторонами градостроительной деятельности. При этом энергетическая активизация конструкций, элементов или здания в целом должна конкретно отражаться на эксплуатационном топливно-энергетическом балансе здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассел Дж. Солнечная энергетика / Пер. с англ. М. : VSD, 2012. 208 с.
2. Торгашина С. Н., Гадаборшева Т. Б., Чернобай Е. А., Косовцев В. Д. Теплотехнические характеристики солнечных систем применительно к Волгоградской области // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 254.
3. Торгашина С. Н. Анализ эффективности работы солнечных водонагревательных систем для г. Волгограда // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Техн. науки. 2005. Вып. 5(16). С. 53—56.
4. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза / Г. В. Ермоленко, И. С. Толмачева, Ю. И. Ряпин и др. М. : Изд-во ВШЭ, 2016. С. 96.
5. Климатологические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР : науч.-справ. пособие / Под ред. И. Д. Копанева. Л. : Гидрометеиздат, 1988. 291 с.
6. Сидорович В. Мировая энергетическая революция. Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М. : Альпина Паблишер, 2015. С. 230.
7. MakLary R. E. Color and cognition in Mesoamerica. Constructing categories as vantages. Austin : Texas Univ., 1997. 616 p.
8. Huffman D. A. A method for the construction of minimum redundancy codes // Proc. of IRE. 1952. Vol. 40. Pp. 1098—1101.
9. Penne-Baker W. B., Mitchell J. L., Langdon G. G., Arps R. B. An overview of the basic principles of the Q-coder adaptive binary arithmetic coder // IBM Journal of research and development. 1988. Vol. 32. No. 6. Pp. 771—726.

© Торгашина С. Н., Чернобай Е. А., Косовцев В. Д., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Торгашина С. Н., Чернобай Е. А., Косовцев В. Д. Перспективы использования систем солнечного теплоснабжения в строительной отрасли Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 144—151.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Чорнобай Ева Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; evakoroleva13@yandex.ru

Косовцев Вадим Дмитриевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Vadim.kosovvv@mail.ru

Svetlana N. Torgashina, Eva A. Chornobay, Vadim D. Kosovtsev

Volgograd State Technical University

**PROSPECTS FOR THE USE OF SOLAR HEAT SUPPLY SYSTEMS
IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY OF THE VOLGOGRAD REGION**

Among the many available methods of using solar energy, two are the most suitable for use in the field of architecture. According to the first method, solar energy is absorbed by the solar collective torus and is used to heat water (or other liquid), which can then be used either directly for home needs or heating, or for cooling. According to another method, solar energy is absorbed directly by the structure of the building and, thus, is used only for the purpose of heating the premises. Both methods are based on the fact that the glass passes short-wave radiation, and the long-wave does not pass. Solar collector technology is a heating technology, while the second method, using what is called the "greenhouse effect", more affects the principles of architecture [1].

Key words: solar irradiation, organization of residential development, solar collector, helioarchitecture, climatic characteristics, microclimate, complex of physical characteristics of solar radiation.

For citation:

Torgashina S. N., Chornobay E. A., Kosovtsev V. D. [Prospects for the use of solar heat supply systems in the construction industry of the Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 2, pp. 144—151.

About authors:

Svetlana N. Torgashina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Eva A. Chornobay — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; evakoroleva13@yandex.ru

Vadim D. Kosovtsev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Vadim.kosovvv@mail.ru

УДК 621.45.034.3

Н. А. Фоменко^а, О. В. Бурлаченко^а, С. А. Чебанова^а, А. А. Карпов^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *АО «Конти»*

ФОРСУНКА РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Долговечность металлоконструкций ограждений парковой зоны городской инфраструктуры, улично-дорожной сети, мостовых переходов и других объектов, как правило, обеспечивается нанесением различными инструментами на поверхность ограждения защитных лакокрасочных материалов. К наиболее распространенным инструментам следует отнести кисти, валики и пневматические распылители. Однако все они обладают существенными недостатками, основным из которых является низкая производительность выполняемых упомянутыми инструментами работ. На основе аналитических исследований и опытно-конструкторских работ авторами запатентовано техническое решение мобильной распылительной системы, оснащенной форсункой с автономной системой подачи лакокрасочных материалов и увеличенным факелом распыла и механизмом автоматической очистки сопла, что обеспечивает повышение производительности агрегата при покрытии ограждений и экологическую безопасность окружающей среды в зоне проведения работы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: камера, экран, форсунка, кулачковый вал, запорная шайба, эксцентрик, сопло, гидроцилиндр, трубопровод, лоток, траверса, грузоподъемное транспортное средство.

Анализ существующих способов окраски ограждений показывает, что для восстановления покрытия ограждений преимущественно используется ручной труд, который не обеспечивает необходимую производительность и защиту окружающей среды при выполнении работ.

Снижение себестоимости выполненных работ с учетом оптимизации численности рабочих, инженерно-технической и управленческой службы, эксплуатационных и материальных затрат производительности способствует росту экономической эффективности применения совершенных средств механизации строительства и городского хозяйства.

Окраска ограждений большой протяженности кистью или валиком не обеспечивает высокую производительность выполнения работ и, как правило, сопровождается повышением стоимости выполняемых работ. Кисти различной ширины и толщины — недорогой инструмент, удобен для окраски недоступных участков ограждений, но обработка большой площади занимает значительное время. Валик следует применять для окраски ровных поверхностей большой площади. Однако его применение, вместе с равномерным нанесением покрытия, приводит к увеличению расхода лакокрасочного материала, особенно для обработки решетчатых ограждений и мелких деталей.

Краскопульты, пульверизаторы, пистолеты-распылители, краскораспылители [1—18] удобны для окраски протяженных и высоких ограждений. В сравнении с кистью и валиком они существенно сокращают время окраски, обеспечивают ровное покрытие на всех участках, снижают расход лакокрасочного материала. Вместе с тем не могут удовлетворять требованиям, предъявляемым к окраске ограждений решетчатой конструкции, и защиты окружающей среды в зоне выполняемых работ.

Например, пистолет-распылитель [1], совмещенный с емкостью для лакокрасочного материала, подключенный через гибкий шланг к переносному компрессору подачи в распылитель сжатого воздуха, имеет ограниченную площадь распыления лакокрасочных материалов на окрашиваемую поверхность, так как факел распыления лакокрасочного материала формируется одним соплом, что снижает производительность работ; также применение ручного труда ограничивает производительность, поэтому при окраске, например, ограждений большой протяженности потребуется увеличение численности рабочих, что повышает стоимость выполняемых работ. Кроме того, к существенному недостатку следует отнести то обстоятельство, что в открытом пространстве в атмосферу выбрасывается значительное количество неиспользованного продукта распыления, химический состав которого отрицательно влияет на экологическую безопасность окружающей среды [19—27].

Распылительная система с переносным краскораспылителем [2], содержащая пистолет-распылитель, совмещенный с емкостью для лакокрасочных материалов, переносной компрессор и гибкий шланг для подачи сжатого воздуха в распылительную систему, также имеет ограниченную площадь распыления лакокрасочных материалов на покрываемую поверхность, так как факел распыления обеспечивается одним соплом, а применение ручного труда при окраске ограждений снижает производительность распылительной системы. К существенному недостатку можно отнести то, что для покрытия ограждения большой протяженности, например ограждений парковой зоны, бульваров, мостовых переходов, потребуется частая дозаправка емкости для лакокрасочных материалов, а также средство для транспортировки компрессора, при этом возрастает трудоемкость и стоимость выполняемых работ. Кроме того, при решетчатой конфигурации рисунка покрываемого ограждения большая часть лакокрасочных материалов или растворителей, применяемых для обезжиривания поверхности ограждения, выбрасывается в атмосферу, что приводит к увеличению расхода материала и загрязнению окружающей среды.

Общим недостатком вышеупомянутого инструмента для окраски ограждений является низкая производительность выполняемых работ из-за ограниченной площади распыления лакокрасочного материала на покрываемую поверхность ограждения, обусловленная формированием факела распыления одним соплом, применения непроизводительного ручного труда и отсутствия защиты окружающей среды от неиспользованного после распыления химически вредного лакокрасочного материала.

На основе анализа перечисленных недостатков проведен синтез отдельных элементов и разработана интегрированная схема технического решения, позволяющего устранить упомянутые недостатки. Во-первых, замена непроизводительного ручного труда на механизированную систему, управляемую оператором из мобильного транспортного средства. Во-вторых, оснащение мобильного транспортного средства грузоподъемным механизмом для навешивания с помощью траверсы и установки распылительной системы на ограждение. В-третьих, изолирование распылителей распылительной системы от окружающей среды. В-четвертых, применение механизма сбора для утилизации неиспользованного лакокрасочного материала.

На основе сформулированной концепции для решения технической задачи по повышению эффективности покрытия ограждений авторами предлагается распылительная система, которая позволяет за счет расширения площади распыления и непрерывного механизированного покрытия ограждений повысить производительность и обеспечить защиту окружающей среды в зоне проведения работ (рис. 1). Интеллектуальная собственность авторов защищена патентом на изобретение [28].

Социальная значимость технического решения заключается в том, что с помощью мобильного механизированного способа окраски ограждений достигнута высокая производительность окраски ограждений и обеспечена полная защита окружающей среды от загрязнения неиспользованными лакокрасочными материалами.

Распылительная система содержит распылительную камеру 1, металлические трубопроводы 2 для подачи лакокрасочного материала, металлические трубопроводы 3 для подачи сжатого воздуха, гибкие шланги 4 и 5 для подачи лакокрасочного материала, гибкие шланги 6 и 7 для подачи сжатого воздуха и гибкий шланг 8 подачи рабочей жидкости гидропривода.

Распылительная система выполнена в виде металлической распылительной камеры 1, состоящей из двух симметрично расположенных экранов 9 и 10 коробчатого типа, соединенных между собой шарниром 11 с траверсой 12, предназначенной для навешивания камеры 1 на стрелу мобильного грузоподъемного транспортного средства (на чертеже не показано).

Экраны 9 и 10 состоят из несущих 13 и боковых 14 стенок. В верхней части камеры 1 на внутренних несущих стенках 13 экранов 9 и 10 жестко закреплены перегородки 15, разделяющие камеру 1 на два отсека — «сухой» Г и «мокрый» Д. В нижней части экранов 9 и 10 на внутренних несущих стенках 13 с возможностью регулирования по высоте закреплены посредством резьбового соединения 16 накопителя 17 коробчатого типа, выполненные в виде лотков 18, закрытых с двух сторон боковыми стенками 19, причем лотки 18 снабжены штуцерами 20 с вентилями для слива лакокрасочного материала, осаждаемого при окраске.

В «сухом» отсеке Г камеры 1 установлен гидроцилиндр 21 гидропривода одностороннего действия с гибким шлангом 8 для подачи рабочей жидкости в полость гидроцилиндра 21, который соединен шарнирами 22 с кронштейнами 23, неподвижно закрепленными на внутренних несущих стенках 13 экранов 9 и 10, и предназначен для разведения экранов 9 и 10 при установке распылительной системы на ограждение.

В «мокрой» отсеке Д на внутренней поверхности экранов 9 и 10 и накопителей 17 размещены распылители 24, которые соединены с металлическими трубопроводами 2 подачи лакокрасочного материала и 3 сжатого воздуха, с гибкими шлангами 5 подачи лакокрасочного материала и 7 сжатого воздуха, расположенных на наружных поверхностях экранов 9 и 10, причем металлические трубопроводы 2 и 3 неподвижно закреплены с помощью кронштейнов 25 на наружных несущих стенках 13 экранов 9 и 10 и через гибкие шланги 4 и 6 соединены с емкостью для лакокрасочных материалов и компрессором для подачи сжатого воздуха, установленными на мобильном грузоподъемном транспортном средстве.

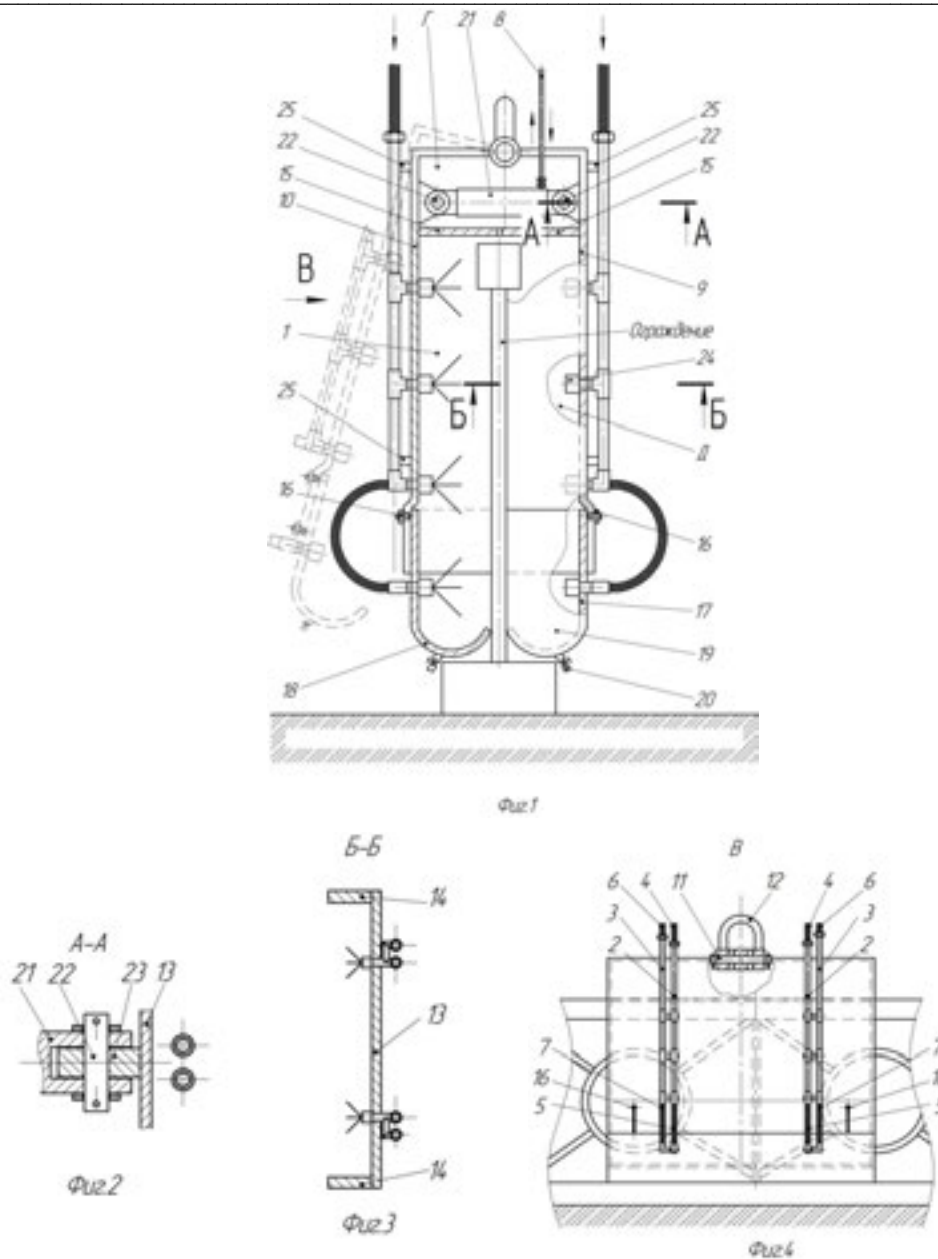


Рис. 1. Предлагаемая распылительная система

Гибкие шланги 5 и 7 присоединены к металлическим трубопроводам 2 и 3 и предназначены для подачи лакокрасочных материалов и сжатого воздуха к распылителям 24, расположенным на внутренних поверхностях накопителей 17, а при регулировке высоты камеры 1 обеспечивают свободное перемещение накопителей 17 относительно несущих стенок 13 экранов 9 и 10. Емкость для лакокрасочных материалов, компрессор для подачи сжатого воздуха и гидропривод для подачи рабочей жидкости в гидроцилиндр размещены на мобильном грузоподъемном транспортном средстве (на чертеже не показано).

Распылительная система работает следующим образом. Для окраски ограждения распылительную систему подготавливают к работе следующим образом. Накопители 17 камеры 1 распылительной системы перемещают по внутренним несущим стенкам 13 экранов 9 и 10 на высоту ограждения, фиксируют резьбовыми соединениями 16 и навешивают с помощью траверсы 3 на мобильное грузоподъемное транспортное средство. Гибкие шланги 4 и 6 подачи к распылителям лакокрасочного материала и сжатого воздуха присоединяют к расположенным на мобильном грузоподъемном транспортном средстве емкости для лакокрасочных материалов и компрессору, а гибкий шланг 8 гидропривода для подачи рабочей жидкости — к гидроцилиндру 21, с помощью которого разводятся экраны 9 и 10 на угол, обеспечивающий свободное прохождение их через верхнюю часть ограждения. После установки камеры 1 на ограждение подача рабочей жидкости в гидроцилиндр 21 прекращается, и экраны 9 и 10 под собственным весом складываются и вытесняют по гибкому шлангу 8 рабочую жидкость из полости гидроцилиндра 21 в гидробак, расположенный на мобильном грузоподъемном транспортном средстве. В результате чего экраны 9 и 10, охватывая ограждение, образуют замкнутое пространство «мокрого» отсека Д камеры 1, тем самым изолируют его от окружающей среды. При перемещении камеры 1 вдоль ограждения конструкция механизма для разведения и складывания экранов 9 и 10 исключает возможность заклинивания ее на ограждении. После подготовки распылительной системы к работе в распылителе 24 подается лакокрасочный материал и сжатый воздух. К распылителям в процессе окраски ограждения осаждаемый в лотках 18 лакокрасочный материал через штуцеры 20, снабженные вентилями, сливается для утилизации. Как показали исследования, в процессе работы распылительной системы распылители, размещенные на внутренних поверхностях экранов камеры, обрастают краской, которая перекрывает выходное отверстие распылителей и, как следствие, сокращается площадь окраски ограждения, а в случае засорения всех распылителей система прекращает функционирование. Отмеченный недостаток отрицательно влияет на эксплуатационную надежность распылительной системы, приводит к снижению качества покрытия ограждения и производительности. Для устранения такого недостатка необходим механизм автоматической очистки выходного канала распылителя. В этой связи предлагается для рассматриваемой распылительной системы конструкция форсунки [29], защищенной авторскими правами.

Форсунка состоит из корпуса 1, распылителя и кулачкового механизма 3, предназначенного для пульсирующей подачи на распылитель краски при окраске ограждения, поступающей по гидролинии 4 через обратный клапан 5 от бака 6, расположенного на мобильном грузоподъемном транспортном средстве. В распылителе 2 выполнены отверстия 7, равноудаленные от оси корпуса 1, и расточка 8 с направляющим цилиндрическим стержнем 9 для установки пружины 10 запорного элемента, выполненного в виде подпружиненной запорной пластины 11. Для подачи красителя к форсунке распылительной системы на торцевой поверхности корпуса 1 выполнены проточка В и канал 12, а в полости Г размещен плунжер 13 с пружиной 14, установленной в расточке 15, при этом глубина расточки 15 равна полному ходу x подпружиненного плунжера 13. Герметичность сопрягаемых поверхностей корпуса 1 и подпружиненного плунжера 13 обеспечивается уплотнительными кольца-

ми 16. Запорная шайба 17 с равноудаленными от оси корпуса 1 отверстиями 18 и запорный элемент, выполненный в виде подпружиненной запорной пластины 11, на которой с одной стороны неподвижно установлены штоки 19, предназначенные для очистки от механических примесей и сгустка красителя в отверстиях 7 распылителя 2. Эластичное кольцо 20, выполненное из резины, закрывает отверстие 18, расположенное на запорной шайбе 17. Кулачковый вал 3, размещенный в полости Д, имеет эксцентриситет e , равный полному ходу подпружиненного плунжера 13 — x , установлен в стаканах 21 на опорах подшипников качения 22, защищенных манжетами 23, размещенными в крышках 24 и закрепленными винтами 25. Смазка подшипников 22, расположенных в полости Д, осуществляется с помощью масленки 26, а вращение кулачкового вала 3 — от автономного привода 27 (рис. 2).

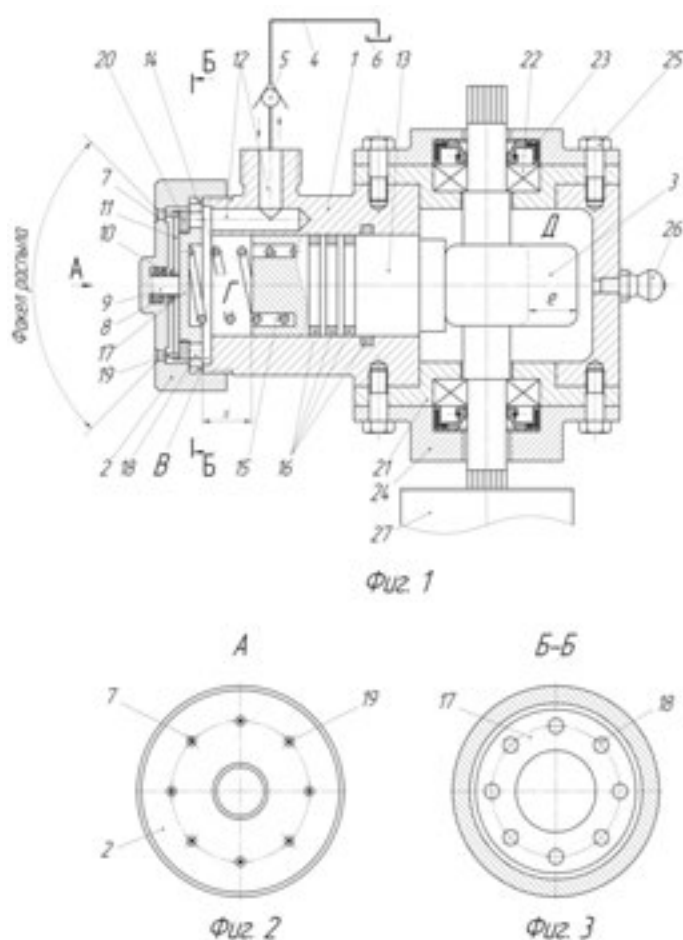


Рис. 2. Распылительная система. Конструкция форсунки

В результате возвратно-поступательного движения от эксцентрика кулачкового вала 3 и пружины 14 плунжера 13 происходит пульсирующая подача краски через канал 12, проточку В, полость Г и распылитель 2 в рабочую зону. В рабочем положении подпружиненный плунжер 13 под воздействием пружины 14 переместится до упора в кулачковый вал 3, и краска через

открытый обратный клапан 5 гидролинии 4 из бака 6 по каналу 12, проточке В корпуса 1 заполнит полость Г корпуса 1, одновременно под действием пружины 10 эластичное кольцо 20, неподвижно расположенное на подпружиненной запорной пластине 11 запорного элемента, закроет отверстия 18 запорной шайбы 17. При движении кулачкового вала 3 в обратном направлении подпружиненный плунжер 13, сжимая пружину 14, перемещается влево, и под действием выдавливаемой из полости Г корпуса 1 краски пружина 10 сжимается, а эластичное кольцо 20 подпружиненной запорной пластины 11 откроет отверстия 18 запорной шайбы 17, и краска через отверстия 7 распылителя 2 выбрасывается в запыленную рабочую зону, формируя факел распыла, при этом обратный клапан 5 гидролинии 4 подачи краски в форсунку закрыт, а штоки 19, установленные на подпружиненной запорной пластине 11 запорного элемента, автоматически очищают от механических примесей отверстия 7 распылителя 2 форсунки.

Выводы

Предлагаемая форсунка распылительной системы с механизмом автоматической очистки сопла обеспечивает непрерывность механизированного процесса покрытия ограждений улично-дорожной сети и городской инфраструктуры лакокрасочными материалами, что позволяет повысить производительность окраски, эксплуатационную надежность мобильного средства механизации, снизить трудоемкость обслуживания и себестоимость выполняемых работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пистолет-распылитель : пат. Ru 2 495 727 (10.09.2013).
2. Пистолет-распылитель с встроенным плотно пригнанным соединителем для резервуара для окраски : пат. Ru 2 005 111 965 (10.11.2005).
3. Пистолет-распылитель с удлиненным устройством для удлинения рукоятки пистолета-распылителя : пат. Ru 2 490 073 (20.08.2013).
4. Пистолет краскораспылитель : пат. Ru 119 265 U1.
5. Распылительный пистолет : пат. Ru 145 941 U1.
6. Распылительная головка : пат. Ru 2 233 203 (27.07.2004).
7. Распылительная система с пистолетом-распылителем : пат. Ru 2 491 996 (10.09.2013).
8. Распылительная система с пистолетом-распылителем : пат. Ru 2 497 598 (10.11.2013).
9. Краскораспылитель : пат. Ru 2 014 157 C1 (15.06.1994).
10. Краскораспылитель : пат. Ru 97 65 U1.
11. Краскораспылитель художника : пат. Ru 91 897 U1.
12. Переносной краскораспылитель : пат. Ru 2 491 997 (10.09.2013).
13. Ручной краскораспылитель : пат. Ru 151 1 97 U1 (27.03.2015).
14. Краскораспылитель : пат. Ru 2 171 719 (10.08.2001).
15. Краскораспылитель : пат. Ru 40 85 U1.
16. Краскораспылитель : пат. Ru 2 120 339 C1.
17. Распылитель жидкости : пат. Ru 9 302 5668 (20.08.1996).
18. Распылитель для жидкостей и сопловая вставка : пат. Ru 2 205 705 (10.06.2003).
19. Азаров В. Н., Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Сеимова Г. В. Consideration of the effect of flue gas emissions into the atmosphere when selecting construction sites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 698. The International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development" (CATPID-2019), Oct. 1—5, 2019, Kislovodsk / Eds. B. Yazyev et al. IOP Publishing, 2019. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077057>. DOI: 10.1088/1757-899X/698/7/077057.
20. Чебанова С. А., Поляков В. Г., Азаров А. В. Designing of organizational and technological solutions for construction in constrained urban environments // IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering. Vol. 687. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019), Sept. 25—27, 2019, Chelyabinsk. Iss. 4. Construction technology and organization / Eds. A. A. Radionov, D. V. Ulrikh. Publ. by IOP Publishing, 2019. 6 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/4/044004/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/687/4/044004.

21. Чебанова С. А., Поляков И. В., Стреляева А. Б. On the dispersed composition of ash and slag waste from boiler-house // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 272. International science and technology conference “Earth science”, Russky Island, Russian Federation, March 4—6, 2019 / Ed. by D. B. Solovev. IOP Publishing, 2019. 6 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/2/022149/pdf>.

22. Чебанова С. А., Поляков В. Г., Ерохин Д. А. Engineering systems of heat supply and working on coal as sources of air pollution by finely dispersed dust // Procedia Engineering. Vol. 150. 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / Ed. by A. A. Radionov. Elsevier publishing, 2016. Pp. 1989—1995.

23. Morphological composition of municipal solid waste in urban areas (on the Dagestan Republic example) / В. Н. Азаров, И. В. Стефаненко, А. В. Азаров, Н. В. Мензелинцева, И. М. Статюха // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 913. International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID-2020). Part 1. Nalchik, Russian Federation, 26—30 Sept. 2020. IOP Publishing, 2020. 8 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/5/052061/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/913/5/052061.

24. The standard justification for the municipal solid waste accumulation / И. В. Стефаненко, А. В. Азаров, Н. В. Мензелинцева, Н. Ю. Карапузова, И. М. Статюха // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 913. International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID-2020). Part 1. Nalchik, Russian Federation, 26—30 Sept. 2020. IOP Publishing, 2020. 8 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/5/052060/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/913/5/052060.

25. Растяпина О. А., Поляков В. Г., Яценко С. О. Modern principles of organization of production territories // Proceedings of the 5th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2021), Sochi, Russia, Sept. 2021. Vol. 168 / Ed. A. A. Radionov et al. Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2022. Pp. 330—340. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91145-4_32.

26. Растяпина О. А., Прокопенко В. В., Ганжа О. А. Urbanized environment quality assessment methodology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 988(4). International science and technology conference “Earth science” (ISTC EarthScience-2022) / Ed. D. B. Solovev. IOP Science, 2022. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/988/4/042076.

27. Analysis and assessment of urban planning safety to achieve sustainable development of urban planning environment / О. А. Растяпина, В. Г. Поляков, В. В. Прокопенко, О. А. Ганжа, Т. А. Сабитова // E3S Web of Conferences. Vol. 208. First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020), Sept. 28—29, 2020. Yekaterinburg, Russia / Eds. W. Strielkowski, E. Animitsa, E. Dvoryadkina. EDP Sciences, 2020. 5 p. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/68/e3sconf_ift2020_04012.pdf. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020804012>.

28. Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фоменко В. Н. Распылительная система : пат. Ru 2 712 570 C1 Рос. Федерация : МПК В 05 В 7/24. (2006.01).

29. Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фоменко В. Н. Форсунка : пат. Ru 2 651208 C1 Рос. Федерация : МПК В 05 В 7/24. (2006.01).

© Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Карпов А. А., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Чебанова С. А., Карпов А. А. Форсунка распылительной системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 152—160.

Об авторах:

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

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

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

Карпов Александр Александрович — начальник участка, АО «Кonti». Российская Федерация, 117630, г. Москва, ул. Академическая, 3, корп. 24; karpov_alexandr@mail.ru

**Nikolai A. Fomenko^a, Oleg V. Burlachenko^a, Svetlana A. Chebanova^a,
Alexandr A. Karpov^b**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *“Konti” JSC*

SPRAY SYSTEM NOZZLE

The durability of metal structures of fences in the park zone of urban infrastructure, the street and road network, bridge crossings and other objects, as a rule, is ensured by applying protective paint and varnish materials to the surface of the fence with various tools. The most common tools include brushes, rollers and pneumatic sprayers. However, all of them have significant disadvantages, the main of which is the low productivity of the work performed by the mentioned tools. Based on analytical research and development work, the authors have patented a technical solution for a mobile spray system equipped with a nozzle with an autonomous system for supplying paint and varnish materials and an enlarged spray torch and an automatic nozzle cleaning mechanism, which ensures an increase in the productivity of the unit when covering fences and environmental safety of the environment in the work area.

Key words: chamber, screen, nozzle, cam shaft, locking washer, ex-centric, nozzle, hydraulic cylinder, pipeline, tray, traverse, lifting vehicle.

For citation:

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Chebanova S. A., Karpov A. A. [Spray system nozzle]. *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], 2022, iss. 2, pp. 152—160.

About authors:

Nikolai A. Fomenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

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, info@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

Alexandr A. Karpov — section manager, “Konti” JSC. 3, Akademicheskaya st., Moscow, 117630, Russian Federation; karpov_alexandr@mail.ru

УДК 628.511.1:656.14

**В. Н. Азаров, А. В. Азаров, Н. В. Мензелинцева, И. М. Статюха,
О. С. Власова, А. А. Селиванов**

Волгоградский государственный технический университет

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВОВ НАКОПЛЕНИЯ
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
НА ОБЪЕКТАХ СТАЦИОНАРНЫХ ТОРГОВЫХ СЕТЕЙ
(НА ПРИМЕРЕ ТОРГОВОЙ СЕТИ «МАГНИТ»)**

Предложена методология, которая может быть использована для разработки расчетно-инструментальных методов определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов для розничных торговых сетей, находящихся под общим управлением, имеющих единый торгово-технологический процесс, схожий ассортимент товаров для реализации и осуществляющих раздельное накопление вторичных материальных ресурсов.

Ключевые слова: накопление отходов, твердые коммунальные отходы, норматив образования ТКО, объект стационарной торговой сети, кластерный анализ.

При реализации торгово-технологического процесса в торговых объектах стационарных торговых сетей происходит накопление твердых коммунальных отходов (ТКО). К ТКО относят отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. Также к ТКО относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, и подобные по составу отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами¹ [1].

Нормативы накопления ТКО для объектов стационарных торговых сетей устанавливаются для каждой торговой сети, осуществляющей свою деятельность в рассматриваемом субъекте РФ. Они определяются в зависимости от значений площадей торговли продовольственными и непродовольственными товарами², при этом необходимо решить целый ряд задач.

Первоначально проводится анализ торгово-технологического процесса стационарной торговой сети, накопления отходов на торговых объектах; устанавливаются форматы торговых объектов в составе исследуемой торговой сети. На основе анализа дается характеристика торгово-технологического

¹ Об отходах производства и потребления : федер. закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ. URL: www.consultant.ru/document.

О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» : федер. закон от 29.12.2014 г. № 458-ФЗ (ред. от 29.12.2015 г.). URL: www.basegarant.ru//7083116.

Об определении нормативов накопления твердых коммунальных отходов : постановления правительства РФ от 4 апр. 2016 г. № 269. URL: [http3.//legalaes.ru](http://3.legalaes.ru).

Методические рекомендации по вопросам, связанным с определением нормативов накопления твердых коммунальных отходов : приказ М-ва стр-ва и ЖКХ РФ 28 июля 2016 г. № 524/пр. URL: <https://doc.plan.ru>.

² Там же.

процесса рассматриваемой стационарной торговой сети, особенностей накопления отходов на торговых объектах, в том числе приводятся сведения об общих площадях торговых объектов, структуре торговых объектов, группах реализуемых товаров, о порядке приемки и подготовки к продаже товаров, наличии производственных мощностей (кулинария и цеха), сведения об упаковке поступающих товаров, возвратной тары.

При характеристике процесса накопления образующихся отходов анализируют: сведения о классификации видов отходов, образующихся на различных торговых объектах торговой сети (в соответствии со сведениями из инвентаризации отходов и паспортов опасных отходов, имеющихся на торговых объектах); сведения о порядке накопления отходов на торговых объектах (места проведения измерений отходов, емкости, наличие отдельного накопления); сведения об обращении с видами отходов, классифицирующихся как вторичные материальные ресурсы (ВМР).

На основании характеристики торгово-технологического процесса стационарной торговой сети, накопления отходов на торговых объектах определяют формат торгового объекта в зависимости от торговой площади торговых объектов, отношения торговой площади продовольственными товарами к общей площади торгового объекта, ассортимента товаров, стратегии географического размещения торговых объектов. При этом следует учитывать, что форматы торговых объектов также могут быть заранее установлены внутренней документацией рассматриваемой торговой сети и определяться, например, на основе резюме CVP-анализа «затраты — объем — прибыль» и маржинального учета³.

При выборе объектов исследования принимается полный перечень торговых объектов стационарной сети с присвоением каждому формата и показателей торговой площади продовольственными и непродовольственными товарами.

Для исследований выбирается не менее трех объектов каждого формата для получения усредненных показателей. В случае отсутствия трех объектов определенного формата натурные измерения и расчеты проводятся по фактически существующим объектам.

По завершении предварительного этапа работ проводится выбор объектов исследования из всего перечня торговых объектов торговой сети рассматриваемого региона вне зависимости от формата.

Формирование статистической выборки объектов для проведения натурных измерений суточных и объемных показателей накопления ТКО и ВМР с целью определения нормативов накопления ТКО проводится одним из известных способов [2—6].

Достоверный объем выборки можно определить по известной формуле [2, 3]:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2 N}{\Delta^2 N + t^2 \sigma^2}, \quad (1)$$

где Δ — предельная ошибка выборки; t — коэффициент доверия; σ — дисперсия; N — объем генеральной совокупности.

³ Там же.

Для торговых сетей с количеством торговых объектов, например, $N = 300$ шт. представительной является большая выборка, объемом не менее $n = 30$. На основании экспериментального опыта установлено, что выборку следует формировать так, чтобы значение торговой площади отличалось от среднего для генеральной совокупности не более чем на 10 %.

После установления общего объема представительной выборки все объекты торговой сети разбиваются на типические группы с помощью кластерного анализа.

Кластерный анализ — это многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объекта, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы (кластеры) [4—11]. Поскольку кластеры — это группы однородности, характеризующиеся общим свойством, то задача кластерного анализа заключается в том, чтобы на основании признаков объектов разбить их на m кластеров так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты различных кластеров существенно отличались. При этом считается, что в каждом кластере содержится как минимум один объект, все исследуемые объекты отнесены к одному из кластеров и один объект не может лежать одновременно в двух кластерах.

Если объекты кластеризации представить как точки в n -мерном пространстве признаков (n — количество признаков, характеризующих объекты), то сходство между объектами определяется через понятие расстояния между точками: чем меньше расстояние, тем они более схожи.

Расстоянием (метрикой) между объектами с номерами i и k в пространстве признаков называется такая величина d_{ik} , которая удовлетворяет следующим условиям [4—6]:

- 1) $d_{ik} \geq 0$ (неотрицательность);
- 2) $d_{ik} = d_{ki}$ (симметрия);
- 3) $d_{ik} \leq d_{ij} + d_{jk}$ (неравенство треугольника);
- 4) если $d_{ik} \neq 0$, то $i \neq k$ (различимость нетождественных объектов);
- 5) если $d_{ik} = 0$, то $i = k$ (неразличимость тождественных объектов).

Известно более 50 различных способов вычисления расстояния между объектами. Наиболее часто в случае количественных признаков используют евклидово расстояние [4—6].

$$d_{ik} = \left(\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_{kj})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где d_{ik} — расстояние между i -м и k -м объектами; x_{ij} и x_{kj} — численное значение j -й переменной для i -го и k -го объекта соответственно; m — количество переменных, которыми описываются объекты.

Меру близости или степень подобия объектов представляют как обратную величину от расстояния между объектами.

Если обозначить все торговые объекты сети (генеральная совокупность) $ТО_i$, где $i = 1, 2, \dots, N$ (N — общее число торговых объектов сети), то каждый торговый объект можно охарактеризовать как минимум двумя параметрами,

например: общая площадь торговых помещений S_i и отношение торговой площади объекта, отводимой под продовольственные товары, к общей торговой площади P_i . Таким образом, каждый торговый объект сети можно изобразить точкой на двумерной плоскости $TO_i = (S_i, P_i)$.

Существуют различные методы, применяемые для разбивки в кластерном анализе: вероятностный подход, метод k -средних, метод k -medians, ЕМ-алгоритм и др. [4—8].

Наиболее популярен метод k -средних [4—10]. Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров [4—6]:

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{x_p \in S_i} (x_p - \mu_i)^2, \quad (3)$$

где k — число кластеров; S_i — полученные кластеры, $i = 1, 2, \dots, k$; μ_i — центры масс векторов $x_p \in S_i$.

Расчет начинается с m случайно выбранных на основании выдвинутой гипотезы или предшествующих наблюдений кластеров. Далее принадлежность объектов к кластерам меняется с тем, чтобы минимизировать изменчивость внутри кластера и максимизировать изменчивость между кластерами. Алгоритм случайным образом назначает в пространстве центры будущих кластеров, затем вычисляется расстояние между центрами кластеров и каждым объектом. Объект приписывается к тому кластеру, к которому он ближе всего. Далее вычисляются средние значения для каждого кластера, их количество равно числу используемых для анализа переменных k . Совокупность этих средних значений представляет собой координаты нового положения центра кластера. Далее вновь вычисляется расстояние от каждого объекта до центров кластеров, и объекты приписываются к ближайшему кластеру, вычисляются центры тяжести кластеров. Процесс повторяется до тех пор, пока центры тяжести не перестанут изменять свое положение в пространстве.

Метод k -средних строит ровно k различных кластеров, расположенных на возможно больших расстояниях друг от друга. Можно выделить четыре основных этапа этого метода [4—6]:

- 1) пользователем или статистической программой выбираются k наблюдений, которые будут первичными центрами кластеров;
- 2) формируются промежуточные кластеры приписыванием каждого наблюдения к ближайшим заданным кластерным центрам;
- 3) после назначения всех наблюдений отдельным кластерам производится замена первичных кластерных центров на кластерные средние;
- 4) предыдущая итерация повторяется до тех пор, пока изменения координат кластерных центров не станут минимальными.

Примем первоначальное количество кластеров $k = 3$. Тогда формула (3) примет вид

$$J = \sum_{i=1}^3 \sum_{x_p \in S_i} (TO_i - TO_{ki})^2, \quad (4)$$

где TO_i — объект кластеризации; TO_{ki} — центры предполагаемых кластеров.

Евклидово расстояние между объектами на плоскости рассчитывается как

$$(x_i - c_k)^2 = \rho_2(ТО_i, c_k) = (S_i - S_k)^2 + (P_i - P_k)^2 = (S_i - S_k)^2 + (P_i - P_k)^2. \quad (5)$$

Каждый исследуемый торговый объект $ТО_i$ относится к тому кластеру C_k , для которого расстояние $d(ТО_i, c_k)$ будет минимальным.

На момент начала работы алгоритма должны быть известны первоначальные центры кластеров. Их рекомендуется выбирать произвольным образом или взять объекты, наиболее удаленные друг от друга в смысле описанного выше расстояния. После того как все объекты распределены по кластерам, заново определяются центры масс кластеров по формуле

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^m u_{ij} x_j}{\sum_{j=1}^m u_{ij}}, \quad (6)$$

где m — количество объектов, попавших в кластер C_i в результате кластеризации; u_{ij} — коэффициент принадлежности, т. е. $u_{ij} = 1$, если $ТО_j$ принадлежит кластеру C_i , $u_{ij} = 0$, если $ТО_j$ не принадлежит кластеру C_i , $i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, m$.

Формула перерасчета (6) применяется по координатно к исследуемым объектам $ТО_j$.

Перераспределение объектов по кластерам и пересчет центра масс каждого кластера проводятся до тех пор, пока кластерные центры не стабилизируются, т. е. не изменятся в результате перерасчета по формуле (6), либо пока не наступит момент, когда ни одна из данных точек не перейдет к соседнему кластеру на текущей итерации.

После кластеризации определяется количество N_i торговых объектов в каждом кластере и упорядочиваются все $ТО_j = (S_j, P_j)$ в каждом кластере по удаленности от центра текущего кластера, полученного на последней итерации. При этом $N_1 + N_2 + N_3 = N$.

Далее определяется доля каждого кластера в общем количестве торговых объектов, т. е. $v_i = N_i / N$, и вычисляется количество объектов данного кластера, представленное в статистической выборке: $n_i \approx 30v_i$ (при необходимости округляется до целого значения).

Из каждого полученного кластера включается в выборку необходимое число n_i торговых объектов $ТО_j^*$ с учетом их упорядоченности. Например, доля 1-го кластера $v_1 = 1/5$. Значит, в первом кластере включается в выборку каждый пятый торговый объект в порядке возрастания. Если доля 2-го кластера $v_2 = 1/2$, то из второго кластера включается в выборку каждый второй торговый объект в порядке возрастания и т. д. При этом $n_1 + n_2 + n_3 = n$.

По результатам проведенной обработки данных о перечне торговых объектов торговой сети получаем необходимую репрезентативную выборку торговых объектов сети $ТО_1^*, ТО_2^*, \dots, ТО_{30}^*$, используемую в дальнейшем анализе.

На каждом из выбранных объектов для проведения натурных измерений проводится сбор сведений о порядке накопления отходов, графике вывоза

отходов, наличии отдельного накопления отходов, определяются емкости, подлежащие ежедневным измерениям, а в случае их отсутствия — места проведения измерений отходов для фиксации показателей накопления. Натурные измерения и фотофиксация выполняются ежедневно (не менее семи дней подряд в каждое из четырех времен года) с учетом графика вывоза отходов.

Нормативы накопления ТКО торговых объектов торговой сети должны содержать:

- суточные значения нормативов накопления ТКО;
- годовые значения нормативов накопления ТКО;
- усредненные показатели плотности ТКО, накапливаемых с торговой площади продовольственными и непродовольственными товарами.

Для получения нормативов накопления ТКО для торговых объектов торговой сети на единицу торговой площади продовольственными товарами и на единицу торговой площади непродовольственными товарами проводятся предварительные натурные измерения с целью определения доли объемных и массовых показателей накапливаемых ТКО в общей емкости с торговой площади продовольственными и непродовольственными товарами соответственно. Для каждого формата торговых объектов торговой сети определяются:

$N_{Vп}$ — среднесуточное отношение итогового объема ТКО, накопленных с торговой площади продовольственными товарами $V_{оп}^{cc}$, к суммарному объему ТКО V_o^{cc} ;

$N_{Mп}$ — среднесуточное отношение итоговой массы ТКО, накопленных с торговой площади продовольственными товарами $M_{оп}^{cc}$, к суммарной массе ТКО M_o^{cc} ;

$N_{Vнп}$ — среднесуточное отношение итогового объема ТКО, накопленных с торговой площади непродовольственными товарами $V_{онп}^{cc}$, к суммарному объему ТКО V_o^{cc} ;

$N_{Mнп}$ — среднесуточное отношение итоговой массы ТКО, накопленных с торговой площади непродовольственными товарами $M_{онп}^{cc}$, к суммарной массе ТКО M_o^{cc} .

Средние значения суточных показателей накопления (по каждому торговому объекту) по типам торговых площадей (продовольственными и непродовольственными товарами) для каждого формата торговых объектов определяются по выражениям

$$\begin{aligned} V_{оп}^{cc} \text{ объекта} &= V_o^{cc} \cdot N_{Vп}; \\ M_{оп}^{cc} \text{ объекта} &= M_o^{cc} \cdot N_{Mп}; \\ V_{онп}^{cc} \text{ объекта} &= V_o^{cc} \cdot N_{Vнп}; \\ M_{онп}^{cc} \text{ объекта} &= M_o^{cc} \cdot N_{Mнп}. \end{aligned} \tag{7}$$

Суммирование полученных значений по всем объектам исследования за все сезоны позволяет определить общие средние значения нормативов накопления ТКО по всем торговым объектам исследуемых периодов торговой сети:

$$\begin{aligned} V_{оп}^{CC} &= \frac{\sum_{i=1, \dots, N} V_{опк}^{CC}}{K}; \\ M_{оп}^{CC} &= \frac{\sum_{i=1, \dots, N} M_{опк}^{CC}}{K}; \\ V_{онп}^{CC} &= \frac{\sum_{i=1, \dots, N} V_{онпк}^{CC}}{K}; \\ M_{онп}^{CC} &= \frac{\sum_{i=1, \dots, N} M_{онпк}^{CC}}{K}, \end{aligned} \quad (8)$$

где K — количество объектов сети.

Годовые значения нормативов накопления ТКО рассчитываются по формулам

$$\begin{aligned} V_{оп}^{год} &= V_{оп}^{CC} \cdot 365; \\ M_{оп}^{год} &= M_{оп}^{CC} \cdot 365; \\ V_{онп}^{год} &= V_{онп}^{CC} \cdot 365; \\ M_{онп}^{год} &= M_{онп}^{CC} \cdot 365. \end{aligned} \quad (9)$$

Усредненные показатели плотности ТКО рассчитываются по значениям нормативов накопления и определяются по формуле

$$D_o^{CC} = \frac{M_{оп}^{CC}}{V_{оп}^{CC}}. \quad (10)$$

Итоговые показатели накопления ТКО для стационарной торговой сети «Магнит» выборочно по каждому исследуемому объекту определенного формата и значения среднесуточных нормативов ТКО по каждому из форматов (выборочно) приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

На рис. даны сравнительные диаграммы по рассчитанным нормативам для всех исследуемых форматов.

Наибольшие значения объемных показателей накопления ТКО на единицу торговой площади наблюдаются в торговых объектах со значением торговой площади 336...1212 м², наибольший показатель объемного накопления ТКО характерен для форматов ММ и МС, что следует учитывать при установлении нормативов по всей торговой сети.

Т а б л и ц а 1

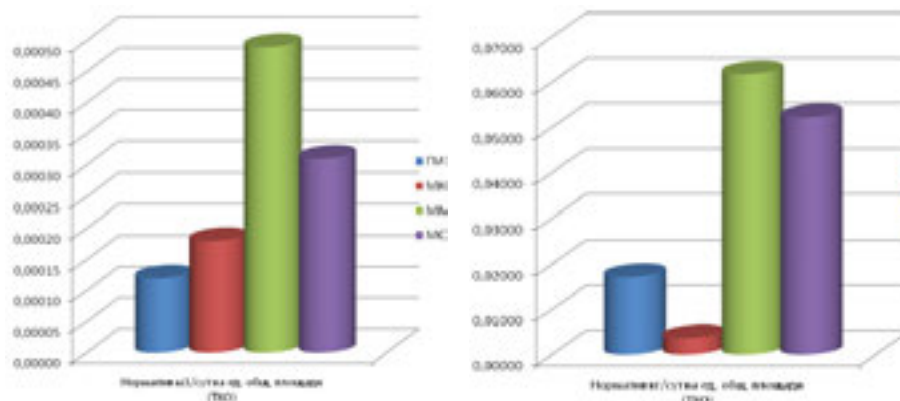
Значения среднесуточных показателей накопления ТКО по каждому объекту (выборочно)

Категория объекта	Общая площадь, м ²	Торговая площадь, м ²	Площадь непрод. товаров, м ²	Площадь прод. товаров, м ²	Среднесуточный показатель накопления ТКО	
					Объемный	Массовый
4	5	6	7	8	9	10
ГМ-1	4069	1859	620	1239	0,66779	105,31578
МК-2	237	213	213	0	0,05444	1,08630
МС-3	2650	1137	379	758	0,68196	124,68074
ММ-4	592	458	153	305	0,21689	37,51179

Т а б л и ц а 2

Значения среднесуточных нормативов ТКО по различным форматам

Формат магазинов	Норматив м ³ /сут на ед. общ. площади (ТКО)	Норматив кг/сут на ед. общ. площади (ТКО)	Норматив м ³ /сут на ед. торг. площади (ТКО)	Норматив кг/сут на ед. торг. площади (ТКО)
1	2	3	4	5
ГМ-1	0,00012	0,01724	0,00028	0,03956
МК-2	0,00018	0,00369	0,00021	0,00434
ММ-3	0,00049	0,06176	0,00072	0,08937
МС-4	0,00031	0,05227	0,00059	0,09860



Выводы

1. На примере торговой сети «Магнит» исследованы особенности установления нормативов накопления ТКО торговых объектов торговой сети.
2. Получены суточные значения нормативов накопления ТКО; годовые значения нормативов накопления ТКО; усредненные показатели плотности ТКО, накапливающихся с торговой площади продовольственными и непродовольственными товарами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В. Н., Азаров А. В., Статюха И. М., Мензелинцева Н. В. Исследование процесса накопления твердых коммунальных отходов на примере Республики Дагестан // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1. С. 48—57.
2. Коростелева Н. В., Лепехина С. А. Обращение с твердыми коммунальными отходами: существующие проблемы и пути решения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 97—107.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятности и математическая статистика. М. : Юрайт, 2013. 173 с.
4. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. для вузов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 543 с.
5. Методы экологических исследований. Основы статистической обработки данных / Р. М. Городничев, Л. А. Пестрякова, Л. А. Ушницкая, С. Н. Левина, П. Н. Давыдова. Якутск : Изд. дом СВФУ, 2019. 94 с.
6. Estivill-Castro V. Why so many clustering algorithms: a position paper // ACM SIGKDD Explorations Newsletter. 2002. Vol. 4. No. 1. Pp. 65—75.
7. Tan P., Kumar V. Introduction to Data Mining. USA, 2006. 125 p.
8. Serebryakova E., Smorodina E., Belyantseva O., Kryuchkova I. Formation of the infrastructure of the waste processing cluster // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164.
9. Pivovarov I. Systematic Approach in Ecological Zoning // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Pp. 11—15.
10. Bandyopadhyay S., Maulik U. An evolutionary technique based on K-means algorithm for optimal clustering in RN // Information Sciences. 2002. Vol. 146. Pp. 221—237.
11. Davies D. L., Bouldin D. W. A cluster separation measure // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1979. Vol. 1.

© Азаров В. Н., Азаров А. В., Мензелинцева Н. В., Статюха И. М.,
Власова О. С., Селиванов А. А., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Разработка метода определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов на объектах стационарных торговых сетей (на примере торговой сети «Магнит») / В. Н. Азаров, А. В. Азаров, Н. В. Мензелинцева, И. М. Статюха, О. С. Власова, А. А. Селиванов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 161—170.

Об авторах:

Азаров Валерий Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ptb2006@mail.ru

Азаров Артем Викторович — канд. техн. наук, зав. научной лабораторией каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; artazarov@mail.ru

Мензелинцева Надежда Васильевна — д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Статюха Иван Михайлович — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; iv-stat@mail.ru

Власова Оксана Сергеевна — канд. техн. наук, доц. каф. пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vlasova_oksana@mail.ru

Селиванов Александр Александрович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Valerii N. Azarov, Artem V. Azarov, Nadezhda V. Menzelitseva, Ivan M. Statyukha,
Oksana S. Vlasova, Alexander A. Selivanov**

Volgograd State Technical University

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING STANDARDS
FOR THE ACCUMULATION OF SOLID PUBLIC WASTE
AT THE OBJECTS OF STATIONARY TRADING NETWORKS
(ON THE EXAMPLE OF THE TRADING NETWORK “MAGNET”)**

A methodology has been developed that can be used to develop calculation and instrumental methods for determining the standards for the accumulation of solid municipal waste for retail chains under common management, having a single trade and technological process, a similar range of goods for sale and carrying out separate accumulation of secondary material resources.

Key words: waste accumulation, municipal solid waste, MSW generation standard, stationary trading network object, cluster analysis.

For citation:

Azarov V. N., Azarov A. V., Menzelitseva N. V., Statyukha I. M., Vlasova O. S., Selivanov A. A. [Development of a method for determining standards for the accumulation of solid public waste at the objects of stationary trading networks (on the example of the trading network “Magnet”)]. *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], 2022, iss. 2, pp. 161—170.

About authors:

Valerii N. Azarov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ptb2006@mail.ru

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

Nadezhda V. Menzelitseva — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Ivan M. Statyukha — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; iv-stat@mail.ru

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

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

УДК 628.511.1:656.14

В. Н. Азаров, К. А. Елфимов, Р. И. Давудов, А. Н. Васильев, В. С. Симаков

Волгоградский государственный технический университет

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕШЕХОДНЫХ ЗОН

В статье рассмотрены вопросы описания дисперсного состава и концентрации пыли в воздухе пешеходных зон с применением теории случайных функций. Получены характеристики дисперсного состава пыли в воздушной среде и определено среднее время пребывания фракционной концентрации выше заданного уровня, среднее число выходов фракционной концентрации в единицу времени за фиксированный уровень. Приведены примеры корреляционных функций, которые можно использовать для аппроксимации эмпирических данных в случае стационарного процесса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дисперсный состав пыли, фракционный состав пыли, воздушная среда городов, случайный процесс, случайная функция, интегральная концентрация, корреляционная функция, стационарный процесс, формула Райса, функция прохода.

Введение

Исследования, проведенные в атмосфере пешеходных зон городов, показали, что в результате изменений интенсивности движения, метеорологических и других параметров случаи колебания функций дисперсного состава пыли значительно превышает погрешность методов измерений. Например, разброс значений интегральной функции распределения дисперсного состава следует отнести к особенностям случайного процесса с учетом воздействия различных факторов (интенсивность и скорость перемещения транспорта) и изменяющихся в определенных пределах параметров воздушной среды (влажность и скорость ветра и т. п.). Именно поэтому необходимо рассматривать функции, описывающие дисперсный состав пыли в воздушной среде населенных пунктов, как случайные¹ [1, 2].

Проблемой загрязнения пешеходных зон городской среды занимаются многие исследователи: Н. М. Сергина, А. Б. Гробов, Е. А. Калюжина, А. Н. Александров и др. [1—5]. В некоторых исследованиях рассматривается вертикальное загрязнение городских территорий жилых зон, связанное с различными вредными выбросами загрязнителей. Например, в работах Н. А. Литвиновой, А. Ю. Моисеенко, Ю. П. Ивановой [6, 7] на разных высотах и расстояниях от трассы экспериментально определены концентрации загрязнений; также выявлены закономерности их рассеивания по высоте зданий в воздухе городской среды. Рядом авторов разработаны программы, предназначенные для прогноза концентраций вредных веществ с учетом разных условий распространения загрязнителей [8]. Кроме того, были получены результаты натурных исследований качества воздуха с учетом передвижных источников загрязнения, которые рекомендовано учитывать при проектировании городских сооружений [4, 9, 10].

¹ Барикаева Н. С. Совершенствование систем мониторинга загрязнения воздуха придорожных территорий городов мелкодисперсной пылью : дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2017.

При прогнозировании загрязнения воздушной среды городов часто применяется теория случайных процессов [1, 11]. При этом концентрация загрязняющего вещества может рассматриваться как случайная величина. Однако сложнее, когда речь идет о выбросах пыли в атмосферу. В этом случае можно не только говорить о случайной величине общей концентрации пыли C_0 , но и рассматривать характеристику аэрозоля как случайную функцию² [1]. Рассмотрим функцию $C(d)$, равную концентрации частиц аэрозоля в воздушной среде, у которых эквивалентный диаметр не превышает d . При этом мы не будем применять термин «случайный процесс», так как речь идет не о времени, а о эквивалентном диаметре частиц. Поэтому будем применять термин «случайная функция» $C(d)$.

Теория выбросов случайных процессов (функций) получила развитие в работах многих крупных ученых. У нас это направление активно развивали профессора Б. Р. Левин, Р. Л. Стратонович, Я. А. Фомин и многие другие. Одной из самых известных работ является работа В. И. Тихонова «Выбросы случайных процессов» [12]. За рубежом известные работы в этом направлении написаны Д. Слепяном, М. К. Вангом и Г. Е. Уленбеком, К. В. Хелстромом и А. Дж. Рейналом.

В теории выбросов случайных процессов (функций) ряд серьезных результатов получил С. Райс [13, 14]. Например, при анализе помехоустойчивости приема сигналов им были получены следующие результаты: впервые была получена формула для расчета средней частоты пересечения случайным процессом фиксированного уровня, он нашел закон распределения максимумов случайных процессов, впервые получил формулы для распределения длительности, максимумов и нулей нормального случайного процесса, а также распределение выбросов его огибающей. Также он дал метод определения длительности замираний при распределении амплитуды полезного сигнала по закону Рэлея. Одной из областей применения распределения Райса и теории выбросов случайных выбросов является экология. Например, Лидбеттер и др. применили этот метод для решения климатических задач [11, 15]. В. Н. Азаров, Н. С. Барикаева и др. применяли в своих работах данный подход для оценки превышения концентрации аэрозоля и величины PM_{10} в воздушной среде вблизи автотрасс.

Рассмотрим возможность применения формулы Райса и теории случайных выбросов для оценки среднего уровня превышений предельно допустимых концентраций частиц аэрозоля в воздушной среде на примере Волгограда, т. е. оценим возможность использования результатов теории выбросов случайных функций, таких как частота выходов случайных функций, характеризующих пылевой фактор загрязнения.

Как отмечались выше, одна из значимых проблем загрязнения воздушной среды городов — это загрязнение атмосферы пешеходных зон. Случайность изменения общей и фракционной концентрации пыли является результатом того, что, например, концентрация пыли на бордюре изменяется в некотором диапазоне, а ряд значений периодически может превосходить установленные значения ПДК.

² Там же.

Рассмотрим в качестве примера такую значимую характеристику пылевой обстановки в воздухе городской среды, как интегральная концентрация $C(d)$ частиц аэрозоли, которая равна массовой концентрации частиц с размерами, не превышающими значение d , и которая может рассматриваться как случайная функция с параметром d . Анализ размера частиц аэрозоля был произведен при помощи двухлучевого сканирующего прибора Microtrac, данные обработаны с использованием программного комплекса SPOTEXPLORER 2018. На рис. 1 представлены примеры результатов натурных исследований функций интегральных концентраций пыли в воздухе на бордюре Ворошиловского района, где каждая из построенных кривых представляет собой реализацию случайной функции $C(d)$. Всего на участке ул. Рабоче-Крестьянской от ул. Огарева до ул. Академической за период с 01.05.2021 г. по 01.09.2021 г. в час пик от 08.00 до 10.00 построено 88 кривых.

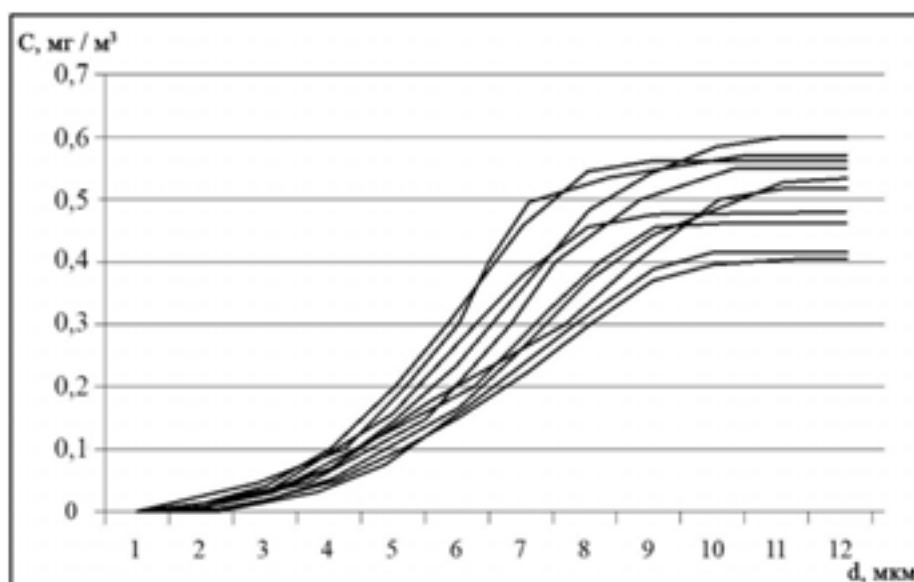


Рис. 1. Примеры результатов натурных замеров фракционных концентраций аэрозоля на бордюре на уровне 1,5 м на ул. Рабоче-Крестьянской

Во многих случаях функцию $C(d)$ можно представить следующим образом:

$$C(d) = c_0 D(d),$$

где d — эквивалентный диаметр частиц, мкм; c_0 — общая концентрация пыли; $D(d)$ — интегральная функция распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам. Отметим, что $D(d)$ — случайная функция, c_0 — случайная величина.

В общем случае $C(d)$ — случайная функция интегральной концентрации пыли, при этом сечения этой функции, например для $d = 10$ мкм, будут образовывать случайную величину PM_{10} , измеряемую в рассматриваемых месте и времени. При $d = 2,5$ мкм получается случайная величина $PM_{2,5}$. Отметим, что случайная величина $C(d)$ может образовываться на основании исследований

максимально разовой концентрации $C_{\text{мр}}$, среднесуточной концентрации $C_{\text{сс}}$ и т. д.

Кроме того, такой подход позволяет определить величину фракционной концентрации, которая превосходит заданную величину норматива ПДК. Найдем вероятность того, что значение $C(d)$ не превосходит некоторого значения $C_{\text{норм}}$. Например, в нашем случае (см. рис. 1) $C(d)$ рассматривается как интегральная функция максимальной разовой концентрации и $C_{\text{норм}}$ равна 500 мкг/м^3 .

Если рассматривать функцию $C(d)$ как нормальный стационарный процесс, то можно получить простые расчетные формулы. В этом случае используем формулу для среднего числа выходов за уровень $C_{\text{норм}}$ в единицу времени — формулу Райса, где $C_{\text{норм}}$ определяется через дисперсию и математическое ожидание случайной функции³ [11, 14, 15].

Обработка результатов замеров показала, что случайная величина $C(d)$ имеет следующие характеристики:

- средняя концентрация пыли составляет $0,43 \text{ мг/м}^3$;
- среднее число выходов за период с 01.05.2021 г. по 01.09.2021 г. за один день составляет 0,052.

Рассмотрим поперечное сечение пешеходной зоны (рис. 2), где по горизонтальной оси откладывается относительное расстояние от стенки ближайшего здания до бордюра, а по вертикальной оси — высота здания. На нем представлена схема разделения аэрозоля по дисперсному составу. В зоне F имеются частицы более 10 мкм ; в зонах А—Е — частицы PM_{10} , в зоне А — только частицы $\text{PM}_{2,5}$.

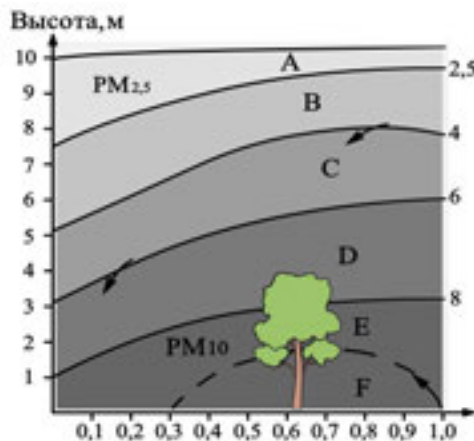


Рис. 2. Уровни дисперсного состава аэрозоля в пешеходной зоне: горизонтальная ось — относительное расстояние от стенки ближайшего здания до бордюра; вертикальная ось — высота здания

Анализ результатов показал, что зона дыхания взрослого человека вблизи зданий, как правило, относится к зоне D и размер частиц не превышает 8 мкм . В остальных точках пешеходной зоны частицы не превышают 10 мкм .

³ Там же.

При этом с вероятностью в 0,15 в этой зоне происходит превышение ПДК_{мр} (максимальной разовой), с вероятностью 0,4 — превышение ПДК для РМ₁₀, с вероятностью 0,06 — превышение ПДК для РМ_{2,5}.

Совершенно другая картина происходит на высоте 1 м. На этой отметке находится зона дыхания детей в колясках, детей дошкольного возраста и учеников младших классов. Концентрация в этой зоне с вероятностью 0,5 превосходит ПДК_{мр}, с вероятностью 0,2 — превышение ПДК для РМ₁₀.

Выводы

Результаты натурных исследований, проведенных для анализа запыленности в пешеходных зонах Ворошиловского района Волгограда, показали следующее:

- случайная функция фракционной концентрации пыли является стационарной;
- зона дыхания взрослого человека (1,5 м) в основном относится к зоне, соответствующей по дисперсному составу РМ₁₀;
- в зоне дыхания детей (1 м) концентрация с большой вероятностью превосходит ПДК для максимальной разовой концентрации, равной 500 мкг/м³, и 50 % по массе частиц превосходит 10 мкм;
- использование аппарата случайных функций позволило не только оценить средние характеристики концентрации по зонам, но и определить число выходов за норматив ПДК для общей концентрации пыли и концентрации пыли РМ₁₀ и РМ_{2,5}. При этом наибольшая вероятность превышения ПДК для взрослых — у РМ₁₀, а для детей наиболее вероятное превышение — по общей концентрации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В. Н., Азаров Д. В., Гробов А. Б., Юрькин В. Ю. Дисперсный состав пыли как случайная функция // Объединенный научный журнал. 2003. № 6. С. 51—53.
2. Azarov V., Barikaeva N., Solovyeva T. Monitoring of fine particulate air pollution as a factor in urban planning decisions // Procedia Engineering. 2016. Pp. 2001—2007.
3. Литвинова Н. А., Азаров В. Н. О закономерностях вертикального распределения концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе от автотранспорта жилых зон территорий города // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 4(36). С. 113—129.
4. Sergina N. M., Sidiyakin P. A., Kovtunov I. A. Seasonal variations in the content of dust particles PM₁₀ and PM_{2,5} in the air of resort cities depending on intensity transport traffic and other conditions // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT. 2017. Vol. 90.
5. Сергина Н. М., Соломахина Л. Я., Лазуренко К. И., Соломахины М. С. О загрязнении атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге взвешенными веществами // Инженер. вестн. Дона. 2019. № 1.
6. Литвинова Н. А., Азаров В. Н. Прогнозирование концентраций загрязнителей внутри помещений многоэтажных зданий от автотранспорта // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 1. С. 6—14.
7. Литвинова Н. А. Чистота воздуха в зданиях в условиях высокой интенсивности движения автотранспорта // Безопасность в техносфере. 2015. Т. 4. № 6. С. 23—26.
8. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М. : Наука, 1982. 320 с.
9. Азаров В. Н., Калюжина Е. А. Об организации мониторинга РМ₁₀ и РМ_{2,5} на примере г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2011. № 25(44). С. 398—401.
10. Azarov V., Sergina N., Kondratenko T. Problems of protection of urban ambient air pollution from industrial dust emissions // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 07017.

11. Лидбеттер М., Линдгрен Г., Ротсен Х. Экстремумы случайных последовательностей и процессов : моногр. / Пер. с англ. М. : Мир, 1989. 392 с.
12. Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов. М. : Наука, 1970. 392 с.
13. Быховский М. А. Пионеры информационного века: история развития теории связи // История электросвязи и радиотехники. 2006. Вып. 4. 376 с.
14. Rice S. O. Mathematical analysis of random noise // Bell Syst. Tech. J. 1945. Vol. 24. Pp. 46—156.
15. Крамер Г., Лидбеттер М. Стационарные случайные процессы / Пер. с англ. М. : Мир, 1969. 400 с.

© Азаров В. Н., Елфимов К. А., Давудов Р. И., Васильев А. Н., Симаков В. С., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Об использовании случайных функций для анализа пылевого загрязнения пешеходных зон / В. Н. Азаров, К. А. Елфимов, Р. И. Давудов, А. Н. Васильев, В. С. Симаков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 171—177.

Об авторах:

Азаров Валерий Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ptb2006@mail.ru

Елфимов Константин Андреевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Давудов Раван Ильхан оглы — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Васильев Анатолий Николаевич — соискатель уч. степени канд. техн. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Симаков Владислав Сергеевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Valerii N. Azarov, Konstantin A. Elfimov, Ravan I. Davudov, Anatolii N. Vasilev, Vladislav S. Simakov

Volgograd State Technical University

ON THE USE OF RANDOM FUNCTIONS FOR THE ANALYSIS OF DUST POLLUTION OF PEDESTRIAN ZONES

In the article, consideration is given to the description of the dispersed composition and the study of dust in the airspace of pedestrians using the theory of random functions. Characteristics of the disperse composition of dust are obtained in the air and determined the average time of observation of fractional concentration above a given level, the average number of outputs of fractional concentration in units of time for a fixed level. Examples of correlation functions are given that can be used to approximate empirical data in the case of a stationary process.

Key words: disperse composition of dust, fractional composition of dust, urban air environment, random process, random function, integral concentration, correlation function, stationary process, Rice formula, pass function.

For citation:

Azarov V. N., Elfimov K. A., Davudov R. I., Vasilev A. N., Simakov V. S. [On the use of random functions for the analysis of dust pollution of pedestrian zones]. *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], 2022, iss. 2, pp. 171—177.

About authors:

Valerii N. Azarov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ptb2006@mail.ru

Konstantin A. Elfimov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

Ravan I. Davudov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Anatolii N. Vasilev — PhD candidate, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Vladislav S. Simakov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 628.4:349.44

М. В. Коростелева^а, Н. В. Коростелева^б

^а *Волгоградский институт управления — филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы (ВИУ РАНХиГС)*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

**САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ В ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЕ ГОРОДОВ
КАК СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРРИТОРИИ С ОСОБЫМ РЕЖИМОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ:
НОРМАТИВНЫЕ ПРАВИЛА УСТАНОВЛЕНИЯ
И ОСОБЕННОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

В статье проведен анализ особенностей нормативной регламентации порядка установления санитарно-защитных зон как специальных территорий с особым режимом использования с учетом изменений законодательства, а также места санитарно-защитных зон в планировочной структуре городов и особенностей их закрепления в градостроительной документации. На основе результатов анализа сделан ряд предложений по улучшению качественных характеристик санитарно-защитных зон.

К л ю ч е в ы е с л о в а: устойчивое развитие, экологическая безопасность, территория с особым режимом использования, санитарно-защитная зона.

Введение

Одним из ключевых направлений реализации концепции устойчивого развития выступает обеспечение экологической безопасности. Экологическая составляющая выступает основой для экономического и социального развития, но нередко игнорируется, что приводит в дальнейшем к весьма неблагоприятным последствиям. Определяющим фактором процессов планировки и застройки территории выступает формирование благоприятного режима жизнедеятельности ее жителей. В этих целях предусматриваются мероприятия, направленные на обеспечение комфортности условий проживания в ее границах, ее благоустройства. Среди них важную роль играют мероприятия по обеспечению надлежащего санитарного состояния территории муниципального образования, способствующие в конечном итоге предотвращению негативного влияния на индивида неблагоприятных условий среды его проживания. В числе таких мероприятий — неукоснительное соблюдение при планировке, проектировании, строительстве и реконструкции объектов (промышленных, транспортных и прочих) санитарных правил. Ими в том числе регламентирован статус санитарно-защитных зон, выступающих защитным буфером, необходимым для поддержания нормативного уровня безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме.

Исходя из этого, в первой части настоящей статьи будет исследована экологическая составляющая устойчивого развития территорий, а также охарактеризовано видовое разнообразие специальных территорий с особым режимом использования как средства обеспечения экологической безопасности населения (на примере России); вторая часть будет посвящена собственно статусу санитарно-защитных зон, выступающих важным элементом поддержания экологически комфортных условий жизнедеятельности при эксплуатации промышленных объектов и производств в штатном режиме, а также процедуры их проектирования и утверждения.

1. Территории с особым режимом использования как фактор обеспечения устойчивого развития территорий

1.1. Экологическая составляющая устойчивого развития территорий

Термин «устойчивое развитие» начал широко использоваться после публикации доклада Our Common Future («Наше общее будущее»). Данный документ определил в качестве такового развитие, которое, заботясь о текущих потребностях, обеспечивает на перспективу реализацию интересов будущих поколений. Российская Федерация признала необходимость последовательного перехода к нему для достижения баланса между экономическим ростом и сохранением благоприятной окружающей среды. В этих целях главой государства была утверждена Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию, а Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ обозначил обеспечение устойчивого развития как ключевой принцип охраны окружающей среды.

Вместе с тем термин «устойчивое развитие» в российском законодательстве используют прежде всего применительно к территориям. Он, в частности, закреплён в Градостроительном кодексе Российской Федерации и связан с обеспечением в процессе градостроительной деятельности по развитию территорий минимизации негативного воздействия антропогенных факторов на окружающую среду, с сохранением природного потенциала территории для будущих поколений. Важным его аспектом выступает поддержание экологической безопасности окружающей среды. Законодательное определение экологической безопасности исходит из понимания ее как особого состояния «защищенности», огражденности этой среды от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности как в настоящем, так и в будущем времени. Государство при этом должно выступать гарантом обеспечения экологической безопасности, формируя систему выявления, учета и анализа факторов, как реально, так и потенциально угрожающих этому состоянию, а также определяя показатели безопасного осуществления промышленной и иной опасной деятельности. Воздействие хозяйственной и иной деятельности не должно превышать предельно допустимой экологической нагрузки на соответствующие территории, а размещение действующих объектов хозяйственной и иной деятельности должно осуществляться с учетом экологической емкости территории.

1.2. Специальные территории с особым режимом использования как средство обеспечения экологической безопасности населения

В процессе осуществления градостроительной деятельности следует императивно иметь в виду, что гарантии защищенности окружающей среды должны касаться экологического состояния как естественных экологических, так и природно-хозяйственных систем и населенных территорий. Законодательно введены специальные эколого-правовые режимы для территорий, требующих особой защиты от влияния неблагоприятных факторов промышленно-хозяйственной деятельности и испытывающих на себе негативную природную или антропогенную нагрузку [1, с. 173].

Так, в числе территорий, требующих особой защиты от неблагоприятного воздействия хозяйственной или иной деятельности, можно выделить территории, прилегающие к береговой линии водоема. В силу этого в отношении водных объектов могут быть установлены такие виды зон с особыми

условиями использования территорий, как *водоохранная зона и прибрежная защитная полоса*. Данный режим ограничивает использование земель, прилегающих к водным объектам, причем это ограничение не зависит от их категории.

У источников питьевого водоснабжения устанавливаются *зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения*. Специфика эколого-правового режима, касающегося расположенных в пределах этих зон территорий, на текущий момент определена СанПиН 2.1.4.1110-02. Следует отметить, что он утрачивает силу с 1 января 2025 г. в связи с изданием Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 3, которым утвержден СанПиН 2.1.3684-21. Установление данного режима обусловливается стратегически важным значением водозаборов для жизнеобеспечения населения. При этом экспертами закономерно отмечается, что в течение срока их установления антропогенная нагрузка на территорию в границах крупных городов, как правило, возрастает, в силу чего необходим постоянный мониторинг таких изменений, их анализ в целях прогнозирования возможных последствий указанных процессов [2, с. 17].

В целях защиты лечебно-оздоровительной местности, сохранения и воспроизводства ее уникальных ресурсов устанавливаются *округа санитарной (горно-санитарной) охраны природных лечебных ресурсов, лечебно-оздоровительных местностей и курортов*. Данный режим в императивном порядке учитывается при разработке градостроительных документов по причине того, что наделенные им территории располагаются, как правило, на землях населенных пунктов.

В отношении территорий, испытывающих на себе негативную природную или антропогенную нагрузку, может быть установлен режим *зон экологического бедствия*. Порядок его объявления и установления на текущий момент урегулирован приказом Минприроды Российской Федерации от 06.02.1995 г. № 45. Меры по защите окружающей среды в зонах чрезвычайных ситуаций устанавливаются Федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ. Следует отметить, что правовой режим территорий в границах *охранных зон земель, подвергшихся радиоактивному и химическому загрязнению*, определяется постановлением Правительства Российской Федерации от 27.02.2004 г. № 112, регулирующим вопросы установления таких зон в целях сбережения находящихся на этих землях объектов. Данный документ действует в части, не противоречащей правилам, утвержденным постановлением Правительства РФ от 03.03.2018 г. № 222. Правовой режим *зон затопления, подтопления* определяется Водным кодексом Российской Федерации и Положением «О зонах затопления, подтопления», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 18.04.2014 г. № 360. Процесс урбанизации, увеличение площади застроенной территории существенно трансформируют природный ландшафт, делают важными учет таких зон в процессе осуществления градостроительной деятельности, и эта важность носит общемировой характер [3].

Чаще всего в границах населенных пунктов устанавливаются *санитарно-защитные зоны промышленных предприятий*. Их появление обусловлено

наличием практически в каждом крупном муниципальном образовании объектов, негативно влияющих (или могущих повлиять) на человека и среду его жизнедеятельности. Промышленные предприятия и места проживания людей при формальной несовместимости жизненно важны друг для друга, что и обусловило формирование системы «взаимоотношений» между ними [4]. Правовой режим таких территорий до 1 января 2025 г. определяется СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Данный документ действует в части, не противоречащей правилам, утвержденным постановлением Правительства РФ от 03.03.2018 г. № 222. После этой даты данные вопросы будут регламентировать нормы СанПиН 2.1.3684-21.

2. Санитарно-защитные зоны как средство обеспечения экологической безопасности населения при эксплуатации промышленных объектов и производств в штатном режиме

2.1. Санитарно-защитные зоны в планировочной структуре городов: функции и нормативные правила установления

В городах как местах проживания людей размещается немало объектов, необходимых для обеспечения жизнедеятельности человека, но оказывающих в процессе своего функционирования неблагоприятное воздействие на состояние природной среды и здоровье населения. В силу этого для их размещения устанавливаются специальные требования, одним из которых является наличие вокруг них санитарно-защитной зоны [5, с. 128]. Кроме того, такие «негативно воздействующие» объекты могут располагаться и неподалеку от городов: это, например, полигоны твердых бытовых отходов, для которых также необходимо наличие санитарно-защитной зоны [6, с. 125; 7, с. 140].

В зарубежных странах идентичные по целевому назначению территории, зачастую обозначаемые как «защитные участки», «буферные зоны», определяются в процессе градостроительного планирования. При этом в работах, анализирующих их статус, подчеркивается значимость процессов определения их границ, выбора оптимальных и обоснованных критериев для этого в целях обеспечения именно управляемого роста для более здоровых и устойчивых сообществ [8—10]. Например, в Швейцарии весьма определенно разграничивают индустриальную и жилую застройку, делая буферные зоны как между ними, так и между ними и транспортными магистралями. Поэтому промышленные предприятия окружены зелеными защитными «буферами», а скоростные автомобильные трассы проходят через санитарные зоны, минимизирующие негативное шумовое и прочее воздействие. Так, швейцарский муниципалитет Мейрен (Meiringen), где находится европейский центр ядерных исследований CERN и женеvский аэропорт Куантрен, получил в 2022 г. Ваккеровскую премию (Wakkerpreis), которую присуждает Швейцарское общество охраны памятников национального культурного наследия (Schweizer Heimatschutz), в том числе и за обеспечение биологического разнообразия в природе в условиях быстро растущего населения¹.

Санитарно-защитная зона — специальная территория с особым режимом использования, размер которой обеспечивает уменьшение негативного загрязняющего воздействия (химического, биологического, физического) до значений, установленных гигиеническими нормативами. По своему функциональному назначению

¹ Schweizer Heimatschutz — Wakkerpreis. URL: <https://www.heimatschutz.ch/wakkerpreis>.

санитарно-защитная зона является барьером, обеспечивающим уровень безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме.

Размер санитарно-защитной зоны должен обеспечивать уменьшение воздействия загрязнения (химического, биологического, физического) на атмосферный воздух до значений, установленных гигиеническими нормативами. Для предприятий I и II класса опасности — как до значений, установленных гигиеническими нормативами, так и до величин приемлемого риска для здоровья населения. Для групп промышленных объектов и производств или промышленного узла (комплекса) устанавливается единая санитарно-защитная зона с учетом суммарных выбросов в атмосферный воздух и физического воздействия источников промышленных объектов и производств, входящих в единую зону. Для автомагистралей, линий железнодорожного транспорта, метрополитена, гаражей и автостоянок, а также вдоль стандартных маршрутов полета в зоне взлета и посадки воздушных судов в настоящее время устанавливается расстояние от источника химического, биологического и (или) физического воздействия, уменьшающее эти воздействия до значений гигиенических нормативов. Это расстояние называется санитарным разрывом. Величина разрыва устанавливается в каждом конкретном случае на основании расчетов рассеивания загрязнения атмосферного воздуха и физических факторов (шума, вибрации, электромагнитных полей и др.) с последующим проведением натурных исследований и измерений.

На момент подготовки публикации правила установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в их границах, утверждены постановлением Правительства РФ от 03.03.2018 г. № 222. Санитарно-защитные зоны устанавливаются в отношении действующих, планируемых к строительству, реконструируемых объектов капитального строительства, являющихся источниками химического, физического, биологического воздействия на среду обитания человека в случае формирования за контурами этих объектов химического, физического и (или) биологического воздействия, превышающего санитарно-эпидемиологические требования. При этом в проекте постановления Правительства РФ «Положение о санитарно-защитных зонах» планируется ввести их установление также и в отношении действующих, планируемых к строительству, реконструируемых некапитальных строений, сооружений, групп производственных объектов, линейных транспортных объектов (автомобильных дорог и железнодорожных линий)². Как представляется, это более точные и конкретные требования, так как применяемый термин «за контуром» имеет весьма неопределенный характер.

Действующие правила не распространяются на случаи установления округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов, зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, санитарно-защитных зон источников ионизирующего излучения. Предполагается эти исключения ввести и для автомобильных и железнодорожных линий, проектирование, строительство и эксплуатация которых осуществляется с учетом соблюдения санитарно-

² Об утверждении Положения о санитарно-защитных зонах и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации: проект Постановления Правительства РФ (доработан. текст) (по сост. на 22.03.2021 г.) // СПС «КонсультантПлюс».

эпидемиологических требований к уровням химического и физического воздействия. Но лишь в том случае, если негативное воздействие от них не превышает за пределами полосы отвода установленные санитарно-эпидемиологические требования. Правда, пока не ясно, каким образом это должно быть доказано. Как представляется, эта дискреционная норма дает широкие возможности для усмотрения и субъективных трактовок, что не может быть расценено положительно.

Проект санитарно-защитной зоны в частности обязаны иметь как застройщик, претендующий на выдачу разрешения на строительство, так и правообладатель построенного объекта, в отношении которого установлена санитарно-защитная зона. Отдельные предприятия обязаны иметь проект санитарно-защитных зон в силу специфики видов деятельности. Так, на основании ст. 31 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ в целях защиты населения в районе размещения ядерной установки, радиационного источника или пункта хранения устанавливаются зоны с особыми условиями использования территорий — санитарно-защитная зона и зона наблюдения.

Земельный кодекс Российской Федерации исчерпывающим образом определяет виды субъектов, по инициативе которых могут устанавливаться зоны с особыми условиями использования территорий. При этом органы местного самоуправления не вправе выступать в качестве субъектов инициирования и (или) принятия решений об установлении юридически значимых санитарно-защитных зон в случаях планирования развития территорий муниципальных образований. Справедливо отмечается, что отсутствие у них такого права при наличии полномочий в сфере территориального планирования и градостроительного зонирования не совсем логично и обосновано [11, с. 24]. Необходимо предоставить органам местного самоуправления возможность обозначения планируемых границ будущих санитарно-защитных зон для планируемых к размещению новых, в настоящее время отсутствующих в пределах функциональных и территориальных зон, производственных объектов, и в силу этого не имеющих правообладателей. Это выступит определенной гарантией предотвращения нормативно непредусмотренного использования территорий для иных целей, например для жилой застройки.

2.2. Проектирование санитарно-защитных зон и порядок их установления

Проектирование санитарно-защитных зон осуществляется на всех этапах разработки градостроительной документации, проектов строительства, реконструкции и эксплуатации отдельного промышленного объекта и производства и (или) группы промышленных объектов и производств. Размеры и границы санитарно-защитной зоны определяются в проекте санитарно-защитной зоны. Он содержит, среди прочего, обоснование размеров и границ санитарно-защитной зоны в соответствии с требованиями законодательства, а также определяет функциональное зонирование территории санитарно-защитной зоны и режим ее использования.

Особое значение имеют параметры озеленения санитарно-защитной зоны. В России в этой сфере сложилась негативная ситуация. В частности, в большинстве регионов практически отсутствует действительно озелененная санитарно-защитная зона как промышленных предприятий, так и других

объектов, требующих ее формирования. Это усугубляется общим весьма неблагоприятным состоянием озеленения городской среды [12, с. 34]. При этом наличие зеленых насаждений в границах санитарно-защитной зоны позволяет в два-три раза снизить концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе. Исследования показали, что в районах с засушливым климатом озелененное пространство санитарно-защитной зоны должно включать и газонное покрытие, что способствует снижению содержания пыли и очищению приземного слоя. В целях усиления микроклиматической, ветрозащитной и пылезащитной эффективности зеленых насаждений в границах санитарно-защитной зоны необходимо формировать «многоярусное» озеленение, сочетая деревья, кустарники и травянистый ковер [13, с. 68].

Положение о санитарно-защитных зонах утверждается Правительством Российской Федерации. Но на момент подготовки публикации данный правовой акт не был принят. В силу этого до 1 января 2025 г. установление, изменение, прекращение существования зон с особыми условиями использования территорий осуществляется в соответствии с требованиями ст. 106 Земельного кодекса Российской Федерации.

Необходимо отметить, что с 1 января 2025 г. должны прекратить существование ориентировочные, расчетные (предварительные) санитарно-защитные зоны, а ограничения использования земельных участков в них не действуют. Данный срок неоднократно продлевался. При этом нередко на практике их наличие отрицательно сказывается на реализации планов развития муниципального образования. Вместе с тем нельзя согласиться с весьма распространенным мнением о том, что само наличие санитарно-защитных зон априори ограничивает возможности реализации в муниципальном образовании градостроительной деятельности и мешает формированию в его границах комфортной среды [14, с. 98—99]. Такой вывод делается на основании того, что нередко в их границах возникают нерационально используемые, а зачастую и пустующие территории. При этом их наличие абсолютно несправедливо связывается с установленным запретом на размещение в пределах санитарно-защитных зон объектов капитального строительства. Как представляется, связи здесь нет. И качество благоустройства самой санитарно-защитной зоны, в частности ее озеленения, никоим образом не связано с запретом размещения на ее территории образовательных и детских учреждений, капитальных спортивных сооружений и т. п. Тем не менее следует согласиться с тем, что при решении вопросов установления санитарно-защитных зон необходим баланс частного интереса собственников и правообладателей земельных участков и публичного интереса в сфере эколого-санитарного благополучия. Поэтому продление сроков существования ориентировочных, расчетных (предварительных) санитарно-защитных зон видится нерациональным. С одной стороны, органы публичной власти должны устанавливать четкие критерии и правовые гарантии, обеспечивающие процессы формирования санитарно-защитных зон, их «расширения» и «сокращения», чтобы не снижать инвестиционную привлекательность территории и не нарушать конституционное право граждан на благоприятную окружающую среду. С другой стороны, пока возникает следующее: отсутствующие в формально-юридическом смысле санитарно-защитные зоны наличествуют в реальности. И зачастую частные интересы собственников и правообладателей экологически «неблагополучных»

промышленных и прочих объектов нарушают как частные интересы собственников жилой недвижимости, так и публичные интересы [11].

Установленные в формально-юридическом смысле санитарно-защитные зоны могут рассматриваться и как один из элементов системы стимулирования правообладателей экологически неблагополучных объектов совершенствовать так называемые зеленые технологии производства, а застройщиков — уделять внимание озеленению жилой застройки. Ведь объект, санитарно-защитная зона которого каким-либо образом «задевает» жилую застройку, объективно не может «разрастаться».

Заключение

Проведенный в рамках исследования анализ нормативных правил установления и закрепления в градостроительной документации санитарно-защитных зон как специальных территорий с особым режимом использования показал, что, несмотря на определенную прогрессивность изменений, многие проблемные вопросы в данной сфере так и остаются не решенными. В частности, закрепленное за Правительством Российской Федерации полномочие по утверждению положения о санитарно-защитных зонах так и не реализовано, в силу чего до 1 января 2025 г. установление, изменение, прекращение существования зон с особыми условиями использования территорий осуществляется в соответствии с требованиями ст. 106 Земельного кодекса Российской Федерации.

Недостаточно в действующих правовых актах урегулированы качественные характеристики санитарно-защитных зон, в частности озеленение входящей в их состав территории. В большинстве регионов практически отсутствует действительно озелененная санитарно-защитная зона как промышленных предприятий, так и других объектов, требующих ее формирования.

Неоднократный перенос сроков прекращения существования ориентировочных, расчетных (предварительных) санитарно-защитных зон привел на практике к тому, что отсутствующие в формально-юридическом смысле санитарно-защитные зоны отсутствуют в реальности. И зачастую частные интересы собственников и правообладателей экологически «неблагополучных» промышленных и прочих объектов нарушают как частные же интересы собственников жилой недвижимости, так и публичные интересы. При этом установленные в формально-юридическом смысле санитарно-защитные зоны могут рассматриваться и как один из элементов системы стимулирования правообладателей экологически неблагополучных объектов совершенствовать так называемые зеленые технологии производства, а застройщиков — уделять внимание озеленению жилой застройки. Ведь объект, санитарно-защитная зона которого каким-либо образом «задевает» жилую застройку, объективно не может «разрастаться». Особо значимо это в городах, так как сохранившиеся в их границах природные участки не в состоянии компенсировать агрессивное техногенное воздействие производственно-хозяйственных объектов на среду обитания. Кроме того, они характеризуются интенсивным воздействием на окружающую среду не только в границах селитебной территории, но зачастую и за ее пределами [15; 16, с. 5]. По данной причине так значимо соблюдение санитарных правил при разработке схем территориального планирования и генеральных планов поселений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анопин В. Н., Кузнецова С. В., Махова С. И., Махов И. Д. Экологические последствия сброса загрязненных вод промышленными предприятиями Волгоградской агломерации и методы их снижения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. № 1(82). С. 173—183.
2. Мониторинг хозяйственного освоения территории в пределах зон санитарной охраны подземных водозаборов (на примере первой линии Томского подземного водозабора) // В. К. Попов, Е. Ю. Пасечник, Л. Н. Чилингер, Е. И. Аврунев, В. И. Редькина // Изв. Томск. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 3. С. 7—21.
3. A framework to support flood prevention and mitigation in the landscape and urban planning process regarding water dynamics / I. B. Lourenço, A. K. Beleño de Oliveira, L. S. Marques, A. A. Q. Barbosa, A. P. Veról, P. C. Magalhães, M. G. Miguez // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 277. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122983>.
4. Cahen B. Implementation of new legislative measures on industrial risks prevention and control in urban areas // Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 130. Iss. 3. Pp. 293—299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.029>.
5. Азаров В. Н., Чебанова С. А., Лаврентьева Л. М., Дубовская Е. А. Организация санитарно-защитных зон промышленных предприятий с учетом особенности производства работ на их территории // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. № 1(74). С. 128—137.
6. Коростелева М. В., Коростелева Н. В. Обращение с твердыми коммунальными отходами как фактор обеспечения экологической безопасности: анализ зарубежного и российского опыта // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. № 3(76). С. 124—133.
7. Азаров В. Н., Азаров А. В., Мензелинцева Н. В., Статюха И. М. Исследование процесса накопления твердых коммунальных отходов и установление нормативов их накопления на примере Республики Дагестан // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 2(79). С. 138—144.
8. Jongman R. H. G. Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks // Landscape and Urban Planning. 1995. Vol. 32. Iss. 3. Pp. 169—183. URL: [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(95\)00197-0](https://doi.org/10.1016/0169-2046(95)00197-0).
9. Ameliorating a complex urban ecosystem through instrumental use of softscape buffers: proposal for a green infrastructure network in the metropolitan area of Naples / E. Coppola, Y. Roupheal, S. de Pascale, F. D. Moccia, C. Cirillo // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00410. URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2019.00410>.
10. Jiang Wei. can environmental protection in ecological functional zones break free from the constraints of focusing just on economic benefits? A case study of the Plateau Ecological Zone's Tiamitcheen // Chinese journal of urban and environmental studies. 2018. Vol. 6. Iss. 3. DOI: 10.1142/S2345748118500185.
11. Трутнев Э. К. Вопросы установления санитарно-защитных зон // Имущественные отношения в РФ. 2019. № 6. С. 20—36.
12. Коростелева М. В., Коростелева Н. В. Правовое регулирование порядка создания лесопарковых зеленых поясов в Российской Федерации // Муниципальное имущество: экономика, право, управление. 2018. № 2. С. 34—37.
13. Семенютина А. В., Ноянова Н. Г., Курманов Н. В. Scientific justification of selection of plants for sanitary protection zones in arid region // World ecology journal. 2018. No. 1. Pp. 52—68.
14. Баширин А. В. Проблемы отображения санитарно-защитных зон в градостроительной документации. Комментарий к Апелляционному определению Верховного Суда Российской Федерации от 17.10.2018 г. № 64-АПГ18-7 // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2019. № 12. С. 97—110.
15. Korosteleva M. V., Korosteleva N. V. Forest-park green belts as environment-forming element of urbanized territories // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 451.
16. Коростелева М. В., Коростелева Н. В. Обеспечение устойчивого развития городских округов: правовые и архитектурно-планировочные аспекты // Новая правовая мысль. 2017. № 1(68). С. 4—7.

© Коростелева М. В., Коростелева Н. В., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

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.

Об авторах:

Коростелева Марина Владимировна — канд. юрид. наук, доц., доц. каф. конституционного и административного права, Волгоградский институт управления — филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы (ВИУ РАНХиГС). Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Гагарина, 8, ком. 311; korostelevamv@mail.ru

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доц., доц. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; korostelevanv@mail.ru

Marina V. Korosteleva^a, Nataliya V. Korosteleva^b

^a *Volgograd Institute of Management — branch of RANEPA*

^b *Volgograd State Technical University*

**SANITARY PROTECTION ZONES IN THE PLANNING STRUCTURE OF CITIES
AS A TERRITORY WITH A SPECIAL REGIME OF USE: REGULATORY RULES
FOR ESTABLISHING AND FIXING IN URBAN PLANNING DOCUMENTATION**

The article analyses the peculiarities of regulatory regulation of the procedure for establishing sanitary protection zones as special territories with a special use regime. This analysis was carried out considering the latest amendments to the legislation at the time of preparation of the article. The authors analyze the place of sanitary protection zones in the planning structure of cities and the features of their reflection in urban planning documentation. Based on the analysis carried out, proposals were made to improve the qualitative characteristics of sanitary protection zones.

Key words: sustainable development, environmental safety, territory with a special regime of use, sanitary protection zone.

For citation:

Korosteleva M. V., Korosteleva N. V. [Sanitary protection zones in the planning structure of cities as a territory with a special regime of use: regulatory rules for establishing and fixing in urban planning documentation]. *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], 2022, iss. 2, pp. 178—187.

About authors:

Marina V. Korosteleva — Candidat of Juridical Sciences, Docent, Volgograd Institute of Management — branch of RANEPA. 8, Gagarina st., Volgograd, 400131, Russian Federation; korostelevamv@mail.ru

Nataliya V. Korosteleva — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; korostelevanv@mail.ru

УДК 69:504.05

И. М. Лебедев^а, П. А. Заболотнева^б

^а *Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)*

^б *ВОО «Русское географическое общество»*

ПЕРЕХОД К УГЛЕРОДНО-НЕЙТРАЛЬНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КАК ЧАСТЬ «ЗЕЛЕННОГО» БУДУЩЕГО

Борьба с углеродными следами в производстве — актуальная тема не только в России, но и в мире. Зеленые технологии являются приоритетом в работе отдельных бизнес-структур, а также задачами государственного уровня, как в нашей стране, так и за рубежом. С каждым годом набирает обороты экологическое просвещение молодого поколения, научение низкоуглеродному проектированию в строительстве, в том числе как источнику новых доходов для предприятий и в целом государства.

Строительная отрасль оказывает большое воздействие на окружающую среду, используя множество сырья различного рода, строительных материалов, энергетических, водных и иных ресурсов. Многие строительные процессы наполняют воздух большим количеством парниковых газов: закисью азота, хлорсодержащими веществами, метаном и др. Между тем увеличение концентрации этих газов приводит к неизбежному нагреванию атмосферы и климатическому сдвигу в сторону повышения температуры. Для того чтобы избежать необратимых изменений климата, мало снизить выбросы CO₂ — надо стремиться свести их к нулю.

Решением данной проблемы может стать проектирование углеродно-нейтральных зданий, использование менее углеродоемких строительных материалов и изделий, переход на возобновляемые источники энергии и вторичное сырье.

В данной статье рассматриваются парадигмы низкоуглеродной экономики и низкоуглеродного строительства с целью сохранения экологии. Освещен европейский опыт применения технологий по строительству зданий с нулевым выбросом углерода, а также домов, способных производить больше энергии, чем потреблять. Проанализирован отечественный опыт по внедрению низкоуглеродных технологий: проектирование зданий и изобретение строительных материалов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экология, строительная отрасль, загрязнение окружающей среды, углеродно-нейтральное строительство, низкоуглеродоемкие строительные материалы.

В последние десятилетия двадцатого века влияние человека на окружающую среду приняло глобальный масштаб и привело к ухудшению состояния атмосферной, водной и почвенной сред. Окружающая среда, в свою очередь, нанесла свой ответ на такое «отношение», заметно изменив почвенный покров и истощив минерально-сырьевые ресурсы и рекреационный потенциал.

Современную цивилизацию невозможно представить без энергии — электрической, тепловой, солнечной, ядерной и др. Основу баланса первичной энергии Российской Федерации составляет ископаемое углеводородное топливо и сырье в размере 89 %, из которых 60 % приходится на природный и попутный газ [1]. «На возобновляемые источники энергии и энергию ядерного топлива приходятся оставшиеся 11 %»¹. В Российской Федерации с каждым годом растет использование первичной энергии ископаемого топлива:

¹ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации. М., 2019.

в 2018 г. потреблено 813 млн, что на 3 % больше, чем в 2017 г. (791 млн), и 2016 г. (789 млн)². «Применяемые современные методы формирования экологически благоприятной среды жизнедеятельности человека опираются на общие научно-теоретические и практические возможности инженерного и архитектурного проектирования, строительства...» [2].

«Кризисные явления последних десятилетий стали основными стимулами для исследования изменения качества современного экономического роста и поиск инновационных моделей, которые обеспечат единство развития природы и человека. К примеру, в 2005 году Организация Объединенных Наций выдвинула модель «зеленой» экономики. Фундаментом модели стало качественное изменение производства и потребления с целью интеграции «зеленых» принципов в стратегическое планирование и бюджетирование» [3], а также экологичности подходов к ведению бизнеса и организации инфраструктуры.

Для России понятие «низкоуглеродная экономика» (low-carbon economy) является чем-то новым, и оно фактически не упоминается в официальных документах [3]. Цели, намеченные нашей страной на ближайшие 10—20 лет, идут в одном направлении с целями перехода к такого рода экономике. Российская законодательная база в сфере регулирования перехода отраслей к низкоуглеродной экономике развивается и имеет большое количество документов: Федеральный закон «О ратификации Рамочной конвенции ООН об изменении климата» от 4 ноября 1994 г. № 34-ФЗ; Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»; Энергетическая стратегия России до 2030 года и многие другие³.

На конференции COP26 в Глазго, которая состоялась 13 ноября 2021 г., Россия представила свою Стратегию низкоуглеродного развития до 2050 года⁴. Министерство экономического развития обозначило, что перед Россией стоит задача выйти на углеродную нейтральность к 2060 г. Достичь цели поможет сохранение и восстановление лесов. Как отметил замглавы Минэкономики Илья Торосов, немаловажным является инвестирование в зеленые проекты страны.

Существует широкий спектр средств для осуществления перехода к низкоуглеродной экономике. «Одним из таких является стимулирование роста государственных инвестиций в экологичную инфраструктуру. А именно в

² Там же.

³ О ратификации рамочной Конвенции ООН об изменении климата : федер. закон от 04.11.1994 г. № 34-ФЗ.

Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15357>.

О климатической доктрине Российской Федерации : распоряжение Президента Рос. Федерации от 17.12.2009 г. № 861-рп.

О сокращении выбросов парниковых газов : указ Президента Рос. Федерации от 30.09.2013 г. № 752.

⁴ Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 29.10.2021 г. № 3052-р.

строительную отрасль, которая является крупным мировым потребителем природных, материальных и энергетических ресурсов. На долю строительства приходится более 35 % конечного потребления энергии, приводящего к выбросам парниковых газов и влияющего на изменение климата» [4].

В течение всего жизненного цикла зданий выбросы газов происходят не только на стадии эксплуатации, но и на всех предшествующих стадиях: производство необходимых строительных материалов, транспортировка и распределение на строительной площадке, строительное производство и пр. [5]. По данным Architecture 2030⁵, выбросы парниковых газов на всех стадиях возведения зданий будут составлять большую часть выбросов от нового строительства к 2050 г.

Одним из решений проблемы выбросов парниковых газов на всех этапах строительства является проектирование зданий с минимальным углеродным воздействием на окружающую среду. Такие здания станут ключом к решению проблем возникновения парниковых газов от процессов строительства и последующего изменения климата, а также к достижению целей Парижского соглашения по климату.

Проектирование низкоуглеродных зданий и сооружений можно понимать как комплекс интеллектуальных и иных технических решений, с применением передовых технологий, в том числе и BIM-моделирования, которые являются высокотехнологичными инновационными решениями. На стадии реализации инвестиционно-строительных проектов для повышения экологической безопасности объектов строительства и их эффективной реализации необходимо проводить комплексную оценку проекта здания, которое будет построено. Тенденция возвращения к неиссякаемым источникам энергии (ветра, солнца, приливов и т. д.) очень высока во всем мире, что делает некоторые строения автономными в использовании зеленой энергии, например энергии солнца для освещения помещений или подогрева воды в резервуарах, расположенных на крышах зданий.

Все больше и больше архитектурных и строительных компаний при создании и реализации делают акцент на принципах устойчивого развития. «В 2020 году британский журнал Dezeen назвал 10 лучших проектов углеродно-нейтральных зданий» [6]. В топ-10 входят такие страны, как Германия, Нидерланды, Великобритания, Норвегия, Дания и др.

Лидером в Европе по количеству возведения таких зданий является Великобритания. Так, например, британская архитектурная студия Feilden Clegg Bradley Studios спроектировала шестиэтажный офис из поперечно-слоистой древесины под названием Paradise, который будет углеродным, чтобы соответствовать заявленным архитекторами обязательствам [1]. В 2019 г. Feilden Clegg Bradley Studios присоединились к другим фирмам — лауреатам премии Стирлинга, включая Zaha Hadid Architects и David Chipperfield Architects, призвав архитекторов изменить свое поведение в сторону изменения климата. «Каждая компания-подписант — основатель Architects взяла на себя публичное обязательство создать здания с нулевым содержанием углерода к 2030 г., и это наша цель для каждого здания, которое мы проектируем», — сказал

⁵ Architecture 2030. New buildings: embodied carbon. URL: architecture2030.org/new-buildings-embodied.

сотрудник студии Джо Джек Уильямс. Офис будет построен на Олд-Парадаиз-стрит рядом с железной дорогой в Воксхолле (Лондон). В деревянном здании будет размещено 5500 м² офисных помещений. Конструкция здания, разработанная инженерами команды Уэбба Йейтса, будет представлять собой комбинацию плит и стержней из поперечно-слоистой древесины (CLT), балок из клееного бруса и некоторых опорных стальных балок на бетонном фундаменте. С точки зрения устойчивости CLT является одним из немногих доступных возобновляемых конструкционных материалов, который может быть механически закреплён, чтобы его можно было просто повторно использовать в конце срока службы. Feilden Clegg Bradley Studios подсчитали, что поглощённого углерода, содержащегося в древесине, достаточно для восполнения выбросов углерода, образующихся на всех этапах строительства, а также в течение первых 60 лет эксплуатации здания [7].

Другой проект посвящён муниципальному жилью. «Студия Михаила Ричеса представила детали малоэтажного пассивного жилья, которое было спроектировано в Йорке (Великобритания), в котором при эксплуатации будет чистый углерод» [8]. В рамках Программы предоставления жилья Совет города Йорка привлек студию Михаила Ричеса для разработки проекта и схемы, которая будет охватывать семь объектов по всему городу. С учётом того, что будет построено более 600 домов, это станет крупнейшей в стране схемой пассивного жилья с нулевым выбросом углерода. Цель лондонской студии Михаила Ричеса в рамках Программы предоставления жилья — предоставить доступные дома с низкими счетами за электроэнергию и побудить жителей вести низкоуглеродный образ жизни. Это будет достигнуто за счёт энергоэффективных конструкций и использования технологий возобновляемых источников энергии, наряду с предоставлением устойчивых методов транспортировки и выделенных площадей для жителей, чтобы выращивать свои собственные продукты питания.

«В Кембриджшире (Англия) Practice Architecture работала вместе с фермерами по выращиванию конопли, чтобы построить дом с нулевым уровнем выбросов углерода из готовых панелей за два дня» [9]. Плоский дом расположен на ферме Марджент площадью 53 га в сельской местности Кембриджшира. Создатели стремятся продемонстрировать возможности конопли — быстрорастущего штамма растения каннабис. Конопля уже используется в коммерческих целях для производства всего, от одежды до биотоплива. Она все чаще используется в качестве экологически чистого строительного материала из-за способности поглощать углерод. В результате дом также отключен от сети, отопление и питание обеспечиваются котлом на биомассе и фотоэлектрической решеткой — системой панелей солнечной энергии, расположенных на крыше. Панели созданы из хемпкрита — смеси извести и конопли. Материалы являются воздухопроницаемыми, что означает, что они регулируют влажность воздуха, противостоят сырости и плесени и способствуют более здоровой окружающей среде и качеству воздуха.

Одним из самых знаменитых проектов в Норвегии является офис Powerhouse Telemark. Архитекторы из Snøhetta выполнили офис в городе Порсгрунн (Норвегия), чтобы здание производило больше энергии, чем будет потреблять, в течение своего срока службы [10]. Powerhouse Telemark отличается своей 11-этажной наклонной формой, которая имеет крутую крышу,

наклоненную под углом 24 град., и характерную выемку в 45 град. на восточном фасаде. Это придает зданию «четкую форму», помогает максимизировать количество солнечной энергии, которую может собирать фотоэлектрический навес, и создает внутри заполненные светом пространства. Фасады здания хорошо изолированы и покрыты сетью деревянных панелей, обеспечивающих солнечное затенение, и фасадных панелей Cembrit — большого листа фиброцемента.

Cembrit был выбран, поскольку он обеспечивает зданию плотность, близкую к плотности каменной конструкции, что означает, что он может накапливать тепло в течение дня и медленно выделять тепло вечером. Это помогает пассивно нагревать и охлаждать здание в тандеме с системой, использующей геотермальные колодцы, вырытые на глубине 350 м под землей.

Германия стояла у истоков создания концепции пассивного дома, которая популярна во всем мире. Важную роль в создании концепции сыграл Институт пассивного дома (PHI) — независимый научно-исследовательский институт под руководством доктора Вольфганга Файнста. Первый пилотный проект был запущен в 1990 г. в городе Дармштадт-Кранихштайн (Германия) и стал первым в Европе жилым многоквартирным домом, достигшим потребления тепловой энергии ниже $10 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$. Архитектурные бюро и строительные компании не стоят на месте и продолжают развиваться. В 2020 г. завершилось строительство первого углеродно-нейтрального отеля Bauhofstrasse. The Stuttgart studio построил отель в центре Людвигсбурга (Германия) рядом с замком в стиле барокко и торговым центром 1970-х гг. в рамках плана по обновлению этого района. Из строительных материалов был использован бетон (для основания и лестницы), слоистая древесина (для несущих конструкций) и фиброцементная черепица (для облицовки фасада). Углеродоемкость бетона была компенсирована использованием древесины, что позволило создать углеродно-нейтральное здание⁶[11, 12].

Международная организация по стандартизации (ISO) разрабатывает глобальный стандарт, который позволит архитекторам и дизайнерам сертифицировать свои здания и продукцию как углеродно-нейтральную [13]. В нем будут представлены руководящие принципы для определения углеродного воздействия проектов и определены виды компенсаций, которые будут допустимы для компенсации выбросов. Новый стандарт ISO, который должен быть опубликован в следующем году, впервые станет признанным международным эталоном углеродной нейтральности.

Все более и более популярной становится целая застройка городских кварталов с нулевым CO_2 . В 2021 г. были представлены строительные проекты в таких городах, как Милан, Париж, Рейкьявик, Осло, Сан-Франциско и Монреаль. Пространство городов в кварталах, которые проектировались с использованием технологий низкоуглеродных инструментариев, отличается мобильностью и доступностью объектов, которые являются жизненно важными для функционирования такого квартала; здесь развиты пешеходные зоны, функционирует экологически чистый общественный транспорт и т. д.

⁶ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen Broschüre: “Klimapositiv: Jetzt!”.

Forschungsprojekt Passive Häuser; Projektziele — mit einem Kommentar des Autors zur 2. Auflage 1995, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1. Aufl. 1988, 2. Aufl. 1995.

Основой же архитектурной среды здесь будут не только здания малой или средней этажности, но и здания, высота которых составляет более 25 этажей. Здесь же особое внимание уделяется и энергетической инфраструктуре, энергоэффективности и энергосбережению, технологиям возобновляемых источников и способам утилизации отходов.

Российская Федерация имеет большой потенциал в сфере энергосбережения и энергоэффективности, но мы пока стоим в начале этого пути: стараемся перенимать опыт и применять его в своих реалиях. Для популяризации энергосберегающих технологий среди населения, представителей власти и бизнеса важен комплексный подход: модернизация действующего законодательства по энергоэффективности, разработка правовых и финансовых мер стимулирования ученых, работающих в этом направлении, архитектурных бюро и строительных компаний.

Россия заинтересована в зеленом строительстве: энергоэффективные здания вплоть до 2019 г. проектировались по зарубежным документам зеленого строительства, таким как LEED, BREEM и DGNB, но они носят только лишь рекомендательный характер, а в 2014 г. была запущена отечественная система сертификации GREEN ZOOM. Специалисты считают это отличным началом внедрения экологических технологий в российский строительный сектор экономики.

Однако практика низкоуглеродного строительства в России и рынок такой недвижимости отсутствуют. В рамках инструмента организационно-экономической мотивации перехода к углеродно-нейтральному строительству эффективно использовать уже существующие методы и механизмы расширенной ответственности производителя и такой же расширенной ответственности застройщика с обязательным внесением такой информации в информационную модель строительства. Основной особенностью таких инструментов при нормировании расширенной ответственности проектировщиков и застройщиков будет являться автоматизированная оценка проектных решений с их прямым или косвенным углеродным воздействием на окружающую среду, а также стоимости трансформации показателей углеродной величины и эффективности развития низкоуглеродного проектирования.

Рациональное использование такого инструмента позволит органам государственной власти поддерживать инициативу участников строительного сектора по устойчивому развитию и сохранению окружающей среды.

Из анализа строительной отрасли можно сказать, что Россия идет своим путем низкоуглеродного развития. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ и весь строительный сектор следят за зелеными трендами, но в отношении строительных материалов. Например, благодаря деревянным небоскрегам, удачный опыт возведения которых уже прошли Норвегия, Великобритания и Канада, в России уделили внимание древесине. В 2017 г. в строительном сообществе стали вестись разговоры про новые нормативные акты, которые дадут возможность возводить многоэтажную постройку из деревянных материалов. До этого СНиПы предусматривали максимальную высоту дома из дерева только в три этажа, и до недавнего времени действовал лишь один СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции», который не учитывал новые современные материалы и технологии деревянного домостроения.

Два ключевых свода правил приняты в 2019 г.: это СП 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования» и СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования», которые разрешили проектирование зданий с применением деревянных конструкций высотой до 28 м вместо ранее максимально разрешенных трех этажей. Разработке нормативных документов предшествовали научные исследования по обеспечению пожарной безопасности.

«Сотрудники Учебного военного центра (УВЦ) Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) совместно с коллегами из Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) разработали новый вид бетона с повышенной ранней прочностью, благодаря которому темпы бетонирования строительных конструкций могут быть увеличены в три-четыре раза. Бетон не растрескивается, не пропускает воду, устойчив к морозу и подходит для возведения сооружений на Дальнем Востоке и в условиях Крайнего Севера. Преимущество нового бетона — экологичность, в отличие от традиционных образцов. При его заливке не требуется термовлажностная обработка, а значит, связанные с этими процессами строительства выбросы тепла в атмосферу отсутствуют»⁷. Помимо этого, образец бетона является менее углеродоемким за счет пониженного содержания цемента в бетоне.

Не только в России, но и в странах Европы наблюдается повышенный интерес к энергосбережению и экологичности строительства. Для европейцев сохранение планеты и осознанное энергопользование — целый образ жизни, к чему россияне идут маленькими шагами [14].

Концепция строительства с низким антропогенным воздействием имеет более широкое значение, чем просто строительство экологичных зданий. Низкоуглеродистое строительство — это экологически безопасная форма строительства, при которой углеродный след здания минимален. «Данное направление символизирует энергоэффективную эксплуатацию зданий и снижение интенсивности воздействия сооружения на окружающую среду» [15]. Важность заключается не только в минимизации выбросов от строительных материалов и изделий, но и в сохранении качества здания и его конструкций. Именно поэтому поиск альтернатив среди строительных материалов или изобретение новых является неотъемлемой частью строительного производства [там же], проектирование поддерживается разработанной моделью ландшафтно-экологического строительства [16].

Не стоит забывать, что важную роль играет и правильное регулирование сферы энергетики и строительства со стороны государства, а также стимулирование потребителей к повышению энергетической грамотности [17]. Согласно данным ВЦИОМ, большинство опрошенных россиян (52 %) верят в серьезность проблемы глобального потепления, несмотря на ограниченность информации. Строительная отрасль — это цепочка, образованная множеством участников, где каждый должен понимать, что он может сделать для сокращения выбросов углерода [18].

⁷ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации. М., 2019.

Выводы

Рассмотренный нами в статье опыт стран, которые применяют инструментарию низкоуглеродной экономики, указывает на то, что все они максимально стараются использовать возобновляемые источники энергии (силы природы), тем самым повышая энергоэффективность своих производственных процессов, а также по подходам к сбору, сортировке и переработки бытовых и промышленных отходов. Для России такая задача также является актуальной, она должна простимулировать отрасли экономики к снижению выбросов углеродсодержащих и иных парниковых (сопутствующих) газов, что приведет к повышению энергоэффективности предприятия в целом.

Низкоуглеродное строительство в ближайшем будущем станет одним из приоритетных экономических трендов, реализация которого будет связана с инвестиционным проектированием, как в отечественной практике, так и в мировой, которому способствуют в том числе и BIM-технологии в сфере проектирования и строительства. Поэтому на государственном уровне необходимо дорабатывать имеющуюся нормативно-правовую базу и принимать новые документы для юридической эффективности зеленого строительства, разрабатывать научную базу и усовершенствовать технологии строительства в данном направлении. Зеленые стандарты и энергоэффективные технологии будут способствовать увеличению интереса со стороны бизнеса, научного сообщества. Для экономики страны стандарты, в свою очередь, станут ключом к реализации принципов зеленой экономики и устойчивого развития и улучшат качество жизни граждан.

Огромные экономические масштабы от применения низкоуглеродных технологий могут измеряться миллиардами долларов уже к 2050 г., что заставляет государства или бизнес-структуры участвовать не только в такой гонке, но и в гонке умов, научных секций и лабораторий по специфике научного направления, с целью улучшения климатической обстановки и повышения статуса отрасли или страны как лидера энергоэффективных технологий.

Комплексное внедрение перечисленных мероприятий и объединение общих сил, направленное на сохранение окружающей природы, поможет сократить вредные выбросы, улучшить экологию и создать комфортные условия для жизни общества, что соответствует целям устойчивого развития (ЦУР) и программам Приоритет-2030.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочуров Б. И. География экологических ситуаций (экодиагностика территорий). М. : ИГ РАН, 1997. 156 с.
2. Емельянова О. Е., Емельянова К. А., Тараненко И. С. Направление улучшения градо-экологического состояния Волгограда при оптимизации грузовых перевозок // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 4(85).
3. Белик И. С., Стародубец Н. В., Майорова Т. В., Ячменева А. И. Механизмы реализации концепции низкоуглеродного развития экономики : моногр. Уфа : Омега Сайнс, 2016. 119 с.
4. Dimoudi A., Tompa C. Energy and environmental indicators related to construction of office buildings // Resour. Conserv. Recycl. 2008. No. 53. Pp. 86—95.
5. Баишмаков И. А. Низкоуглеродная Россия: 2050 год. М : ЦЭНЭФ, 2009.
6. Carlson C. Dezeen's top 10 carbon-neutral buildings of 2020. URL: <https://www.dezeen.com/2020/12/19/dezeens-top-10-carbon-neutral-buildings-2020-reviews>.
7. Ravenscroft T. Feilden Clegg Bradley Studios designs carbon negative timber office in London. URL: <https://www.dezeen.com/2020/07/31/paradise-net-zero-carbon-office-feilden-clegg-bradley-studios>.

8. Crook L., Riches M. Releases visuals for carbon-neutral housing scheme in York. URL: <https://www.dezeen.com/2020/11/12/mikhail-riches-city-of-york-housing-delivery-programme>.
9. Levy N. Hemp is used on interior and exterior of zero-carbon Flat House in Cambridgeshire. URL: <https://www.dezeen.com/2020/01/09/flat-house-hempcrete-practice-architecture-margent-farm>.
10. Crook L. Snøhetta designs carbon-negative Powerhouse Telemark office in Norway. URL: <https://www.dezeen.com/2020/11/02/snohetta-powerhouse-telemark-sustainable-office-norway>.
11. Feist W., Loga T. "Vergleich von Messung und Simulation" in "Energiebilanz und Temperaturverhalten": Protokollband Nr. 5 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser; PHI; Darmstadt, Januar 1997.
12. Ebel W., Feist W. "Ergebnisse zum Stromverbrauch im Passivhaus Darmstadt-Kranichstein" in "Stromsparen im Passivhaus": Protokollband Nr. 7 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser; PHI; Darmstadt, 1997.
13. Fairs M. New ISO standard will create international guidelines for carbon-neutral buildings and products. URL: <https://www.dezeen.com/2021/09/17/iso-standard-international-guidelines-carbon-neutral-buildings>.
14. Крутилова М. О., Авилова И. П. Механизмы экономического стимулирования зеленых стандартов строительства и эксплуатации объектов недвижимости // Вестн. Белгор. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. 2017. № 1. С. 201—207.
15. Бакаева Н. В., Матюшин Д. В. Обеспечение безопасности среды жизнедеятельности города на принципах биосферной совместимости (на примере инженерно-строительных объектов) // Экономика строительства и природопользования. 2020. № 1(74). С. 5—16.
16. Иванова Н. В., Ганжа О. А., Подковыров И. Ю. Методические основы строительства вертикального озеленения здания // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84).
17. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестн. МГСУ. 2011. № 3. С. 192—200.
18. Львов С. В. ВЦИОМ. 26 февраля 2020 года. Изменение климата и как с ним бороться? Мнение россиян.

© Лебедев И. М., Заболотнева П. А., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Лебедев И. М., Заболотнева П. А. Переход к углеродно-нейтральной строительной отрасли как часть «зеленого» будущего // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 188—197.

Об авторах:

Лебедев Игорь Михайлович — канд. психол. наук, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; Lebedev26@mail.ru

Заболотнева Полина Андреевна — ВОО «Русское географическое общество». Российская Федерация, 109012, Москва, Новая площадь, 10, стр. 2; zabolotik00@yandex.ru

Igor M. Lebedev^a, Polina A. Zabolotneva^b

^a *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)*

^b *Russian Geographical Society*

TRANSITION TO A CARBON-NEUTRAL CONSTRUCTION INDUSTRY AS PART OF A "GREEN" FUTURE

The topical issue of combating carbon footprints in production is a topical issue not only in Russia, but also in the world. "Green" technologies are a work priority not only for individual business structures, but are also tasks of the state level, both in Russia and abroad. Every year, environ-

mental education of the younger generation is gaining momentum, teaching low-carbon design in construction, including as a source of new income for enterprises and the state as a whole.

The construction industry has a great impact on the environment, using a variety of raw materials of various kinds, building materials, energy, water and other resources. Many construction processes fill the air with a large amount of greenhouse gases: nitrous oxide, chlorine-containing substances, methane, etc. And an increase in the concentration of these gases leads to an inevitable heating of the atmosphere and a climatic shift towards an increase in temperature. In order to avoid irreversible climate change, it is not enough to reduce CO₂ emissions — we must strive to reduce them to zero.

Solutions to this problem can be the design of carbon-neutral buildings, the use of less carbon-intensive building materials and products, the transition to renewable energy sources and secondary.

This article discusses the paradigms of low-carbon economy and construction in order to preserve the environment. The European experience of applied technologies for the construction of buildings with zero carbon emissions, as well as houses capable of producing more energy than they consume, is highlighted. The domestic experience in the introduction of low-carbon technologies is analyzed: the design of buildings and the invention of building materials.

Key words: ecology, construction industry, environmental pollution, carbon-neutral construction, low-carbon building materials.

For citation:

Lebedev I. M., Zabolotneva P. A. [Transition to a carbon-neutral construction industry as part of a “green” future]. *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], 2022, iss. 2, pp. 188—197.

About authors:

Igor M. Lebedev — Candidate of Psychological Sciences, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Lebedev26@mail.ru

Polina A. Zabolotneva — Russian Geographical Society. 2, Novaya Ploshad, Moscow, 109012, Russian Federation; zabolotik00@yandex.ru

УДК 712.263+635.92(075.8)

Т. А. Чернявская, В. В. Ушаков

Волгоградский государственный технический университет

ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ И СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ВОЛГОГРАДА

Статья содержит материалы по исследованию и анализу исторической динамики развития системы озеленения Волгограда как городского поселения с момента его основания и до сегодняшних дней. Описывается развитие и состояние данной системы в совокупности с ее географией с конца XVI в. по настоящее время. Для сохранения и улучшения системы озеленения и ее компонентов в Волгограде предлагаются основные меры по решению этой проблемы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: озеленение городов, историческое развитие и состояние, система озеленения городских территорий, древесные растения, Волгоград.

Зеленые насаждения и городские леса — неотъемлемая часть градостроительной структуры крупных и крупнейших городов и часть их экологического каркаса. Они входят в систему жизнеобеспечения города как важнейший средообразующий и средозащитный фактор, обеспечивающий комфортность и качество среды обитания человека, и как обязательный и важный элемент городского ландшафта. В условиях экологического неблагополучия растительный потенциал является одним из эффективных факторов оздоровления среды обитания человека. Зеленые насаждения выполняют санитарно-гигиенические и психофизиологические функции: продуцируют кислород, ассимилируют углекислоту, осаждают пыль, газообразные химические вещества, микроорганизмы, радионуклиды, смягчают климатические параметры, снижают влияние инфракрасного солнечного излучения.

Современное состояние озелененных территорий городов, расположенных в засушливых условиях юга европейской территории России, следует признать неблагоприятным. Под воздействием промышленных и транспортных загрязнителей, климатических особенностей, неорганизованного отдыха горожан происходит деградация озелененных территорий, сокращение их площадей за счет развития застройки селитебных и иных зон. В большинстве своем в насаждениях общего пользования и специального назначения древесная растительность характеризуется разреженным расположением растений, имеется много выпадов за счет их гибели, а оставшиеся находятся в угнетенном состоянии. Эффективность таких насаждений в снижении влияния отрицательных природно-климатических и антропогенных факторов очень низка [1—6].

Система озеленения является как причиной основания и развития поселения, так и ее последствием. Она включает как созданные природой, так и человеком зеленые и водные комплексы, позволяющие поддерживать комфортные условия жизнедеятельности, а человек обязан следить за состоянием озеленения, чтобы обеспечить благоприятные условия для жизни поселения в целом.

Актуальность выполнения данного исследования обусловлена необходимостью подробного изучения динамики развития и проведения реконструкции системы озеленения Царицына — Сталинграда — Волгограда.

Зеленая система Волгограда имеет непростую историю развития, как и сам город в целом, как и его нынешнее состояние. Для того чтобы правильно оценить и скоординировать действия по его содержанию и реконструкции, необходимо понять, какова его история создания и содержания в прошлом. Поняв это, при использовании преемственности озеленения для этого города можно создать один из качественных и успешных проектов по озеленению города в довольно засушливом регионе России — Нижнем Поволжье, как пример для дальнейшего озеленения других поселений в этой местности [1—5].

История города и его озеленения в целом начинается с того момента, когда в 1589 г. была построена крепость Царицын, названная в честь ныне почти исчезнувшей реки Царицы. Но первые сады упоминаются только в 1650-х гг., поскольку потребовались ресурсы для постоянного содержания жителей крепости. Для решения этой задачи было посажено 100 садов общей площадью 327 га. Как одно из значимых событий в истории города необходимо упомянуть основание немецкой колонии Сарепты в 1765 г. возле реки Сарпы, сегодня также практически исчезнувшей, южнее Царицына. Немцы были приглашены императрицей Екатериной II.

Цель этой колонии и других ей подобных поселений на Поволжье — помощь в экономическом развитии регионов России. В 1798 г. Царицын становится уездным городом Саратовской губернии, при этом сама крепость Царицын параллельно, в этом же году, теряет свое значение как оборонительное фортификационное сооружение. Вплоть до начала XIX в. сильных изменений в зеленом фонде города за весь данный период не происходит.

В 1801 г. были озеленены все участки приходских храмов города Царицына (тогда их было четыре) лиственными породами деревьев. Значимым для территориального развития Царицына является 1820 г. В этом году утвержден первый генеральный план квартальной постройки города за пределами крепости, при этом сама крепость уничтожается полностью, а крепостные валы засыпаются (рис. 1).



Рис. 1. Город Царицын в своих границах по состоянию на 1909 г.

Активно озеленение Царицына начинается лишь в 1880-х гг. при осуществлении тогдашних проектов по массовому озеленению данного города. По этим проектам создавались отдельные парки и сады как места для отдыха горожан. Значимыми среди них можно назвать Александровский сквер на месте

бывших стен крепости, который полностью будет построен в 1910 г. (здесь использовали для посадок тополи), и парк «Конкордия» на территории поймы реки Царица; здание и сад построены в 1882 г., здание функционировало как театр в 1905—1915 гг., а с 1915 г. — как кинотеатр.

Серьезные изменения в озеленении города происходят после революции 1917 г. и Гражданской войны, когда в городе, а после и по всей стране утверждается власть Советов. С этого момента происходят кардинальные изменения в озеленении города и в градостроительной политике [1, 3—5, 7].

В 1925 г. Царицын переименовывается в Сталинград (по причине посещения города Иосифом Сталиным во времена Гражданской войны), и в этом же году утверждается генеральный план города, первый под этим именем. С того же 1925 г. начинается осуществляться государственная градостроительная политика озеленения городов по всему СССР, в 1925—1935 гг. было создано большое количество городских садов и парков во многих городах, не был исключением и Сталинград.

Примерно в это же время Александровский сквер в центральной части города получает имя сквера имени Карла Маркса и увеличивается в размерах. Территория парка «Конкордия» (сад и здание) переименовались в этот же период в Театр музыкальной комедии (рис. 2 и 3). В довоенный период были заложены основы общегородского озеленения во многих регионах. В мае 1935 г. создается Сталинградская лесопосадочная машинно-тракторная станция с целью развития искусственного лесоразведения и озеленения в степных условиях. Сотрудниками станции вплоть до 1942 г. создается зеленое кольцо от поселка Тракторного завода до поселения Бекетовка.



Рис. 2. Карта-схема первого генерального плана Сталинграда

Также за семь лет было создано множество лесных культур, садов, виноградников, лесопарков, лесных и плодовых питомников общей площадью примерно в 2500 га. В результате проведенных работ был значительно

изменен ландшафт полупустынных окрестностей Сталинграда, улучшились микроклиматические и санитарно-гигиенические условия городской среды. Значительно сократился доступ песка и пыли в город, уменьшились процессы эрозии.

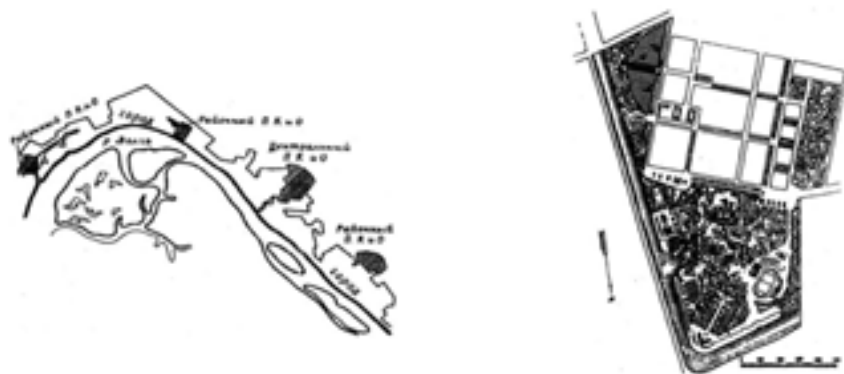


Рис. 3. Проект озеленения Сталинграда по О. Ширяеву в 1930-х гг.: слева — схема расположения парков на территории города; справа — схема планировочной структуры парка культуры и отдыха на территории современного Красноармейского района

С началом Великой Отечественной войны резко сократился объем финансирования проводимых работ. За время боевых действий в период Сталинградской битвы (1942—1943) насаждения зеленого кольца почти полностью были уничтожены, а жилые и производственные помещения разрушены [1, 3—5, 7].

После окончания боевых действий начался новый период в истории развития зеленого кольца Сталинграда, характеризующийся масштабными процессами по восстановлению разрушенных насаждений. В этот отрезок времени произошли некоторые изменения территориальных границ, вызванные в частности требованиями нового разработанного генерального плана города. В 1952 г. торжественно открывается Центральная набережная и принимается в эксплуатацию Волго-Донской судоходный канал им. В. И. Ленина [1, 3—6].

В начале 1960-х гг. на базе старой Сталинградской лесопосадочной машинно-тракторной станции создается новая Волгоградская производственно-экспериментальная лесомелиоративная станция (ВПЭЛС), силами которой формируется новый зеленый фонд города. В это же время сквер имени Карла Маркса теряет свое имя и становится частью проспекта имени В. И. Ленина (на сегодняшний день ею же и является).

К 1961 г. не были реализованы все проектные решения генплана, а лишь большая часть принятых планом задач озеленения городских и пригородных территорий по причине отмены генерального плана, связанной с разработкой и утверждением нового. В этот же год Сталинград был переименован в Волгоград. При этом основы Центральной набережной, Аллеи Героев и Площади Павших Борцов продолжали реконструироваться по ранее утвержденным проектным решениям. Озеленение на территории парка «Конкордия» в это время ликвидируется полностью (на его месте сегодня расположена станция Пионерская).

В 1967 г. был открыт архитектурно-ландшафтный мемориальный комплекс Мамаев курган (строился с 1959 г.). Мамаев курган является естественным курганом, расположенным в черте города недалеко от берега реки Волги на территории Центрального района. Также проводились и работы по созданию множества небольших парков, скверов и площадей по всему городу, вплоть до 1990-х гг.

С начала 1990-х гг. из-за смены государственного и экономического строя прекратилось бюджетное финансирование зеленых проектов, был осуществлен переход на муниципальный уровень содержания, что сказалось на снижении качественного ухода за всей системой озеленения города. Но в период 2001—2020 гг. осуществлялись проекты по реконструкции территории у подножья Мамаева кургана, Центрального парка культуры и отдыха, парка имени Юрия Гагарина, по постройке Спартакского парка и Парка 75-летия Победы (реконструкция ранее существовавшего здесь парка) как наиболее значимые и известные в истории города [1—6, 8].

На сегодняшний день система озеленения Волгограда представляет собой хорошо развитую систему зеленых насаждений с включением разнообразных водных объектов. Однако современное состояние системы озеленения имеет свои проблемы.

По лесорастительному районированию РФ территория города расположена на стыке Волго-Медведицкого и Задонского природных комплексов, на речной террасе Волги. Естественный растительный покров практически не сохранился и представлен небольшими участками леса и лугами по склонам и днищам балок и оврагов. В почвенном покрове распространены светло-каштановые почвы или серые полупустынные.

Зеленые насаждения и городские зеленые объекты — неотъемлемая часть градостроительной структуры Волгограда и часть его экологического каркаса. Они входят в систему жизнеобеспечения города как важнейший средообразующий и средозащитный фактор, обеспечивающий комфортность и качество среды обитания человека, и как обязательный и важный элемент городского ландшафта.

В условиях экологического неблагополучия городских территорий растительный потенциал является одним из эффективных факторов оздоровления среды обитания человека. Зеленые насаждения выполняют санитарно-гигиенические и психофизиологические функции: продуцируют кислород, ассимилируют углекислоту, осаждают пыль, газообразные химические вещества, микроорганизмы, радионуклиды, смягчают климатические параметры, снижают интенсивность инфракрасного солнечного излучения.

Современное состояние озелененных территорий города следует признать неблагоприятным. Под воздействием промышленных и транспортных загрязнений, климатических особенностей, неорганизованного отдыха горожан происходит деградация озелененных территорий, сокращение их площадей за счет развития селитебных и иных зон застройки. Сплошь и рядом вдоль автомагистралей тянутся однорядные посадки слишком далеко друг от друга расположенных, плохо развивающихся деревьев, без какого-либо кустарника. Эффективность таких насаждений в снижении концентрации выхлопных газов очень низка. Насаждения в пределах городской застройки по функциональному назначению подразделяются на следующие категории:

насаждения общего пользования, насаждения ограниченного пользования, насаждения улиц, дорог, магистралей, насаждения специального назначения [1, 3—6, 9—11].

Уровень озелененности территории Волгограда значительно ниже той величины, которая по нормативам принимается за оптимальную: на одного жителя города площадь зеленых насаждений в среднем составляет около 10,0 кв. м при минимальной норме 25,0 кв. м. При этом весь зеленый фонд города составляет 14,42 % от всей территории города.

Уже сегодня город потребляет кислорода больше, чем его производят городские насаждения. Пока проблему решает циркуляция воздушных масс: воздух, насыщенный кислородом, поступает в город извне, тем не менее уже сейчас при определенных погодных условиях (например, безветренная погода) горожане с ослабленным здоровьем ощущают недостаток кислорода.

В единую систему озеленения Волгограда входят объекты природоохранной, ландшафтной и историко-культурной ценности, лесопарковые участки Волгоградского лесхоза и городские парковые зоны. В настоящее время в городе насчитывается 12 389 га зеленых насаждений, из них 1292,82 га — насаждения общего пользования, в том числе 852,0 га — зеленые объекты, посадки, высаженные до 1965 г. В зеленых насаждениях Волгограда около 80 % древесных растений имеет возраст более 50 лет, у некоторых из них выражены процессы усыхания.

На основе Картографического фонда Волгограда все объекты зеленого фонда города разделены на три группы: парки, лесопарки и пашни. Парки расположены большей частью на севере города (Тракторозаводский, Краснооктябрьский, Центральный районы) и в Красноармейском районе. Также они находятся на востоке города, ближе к реке Волге. Лесопарки (облесенные участки) имеют довольно большую площадь и растянуты по всей длине города: от севера Тракторозаводского района до юга Красноармейского района в западной части, подальше от реки Волги. Видно, что они имеют самую большую площадь в городе.

Пашни расположены по этому плану также дальше от Волги, но раздроблены на несколько больших участков. Они расположены на территории следующих районов: Тракторозаводского, Дзержинского, Советского и Кировского (рис. 4).

Наиболее распространенными приемами озеленения Волгограда стали: рядовые посадки древесно-кустарниковых насаждений на тротуарах, бульвары, свекры, разделительные и санитарно-защитные полосы при скромном количестве парков. Ведутся попытки реконструкции отдельных зеленых объектов, и в планах воссоздание единой непрерывной и взаимосвязанной зеленой системы.

Однако на современном этапе уже необходима реконструкция системы озеленения Волгограда и проведение санитарных рубок, с частичной заменой усыхающих деревьев. При реконструкции и создании новых зеленых насаждений требуется особый подход к выбору породного состава и расположению его в разных частях города в зависимости от географии и микроклимата той или иной части города, а также функционального назначения объектов озеленения [1, 3—5, 8, 9, 13, 14].

Реконструкция зеленого фонда города должна проводиться в первую очередь в качественном значении предлагаемых пород древесных растений без серьезных географических изменений; типы реконструкций будут различаться по функциональному значению зеленых объектов — городские парки, городские лесопарки и припойменные зоны, а также озеленение дорог.

Восстановление каждого из них по-своему отличается, несмотря на использование общих основных пород деревьев. При этом породный состав должен выдерживать местную засушливость и сами деревья должны быть довольно морозостойкими.

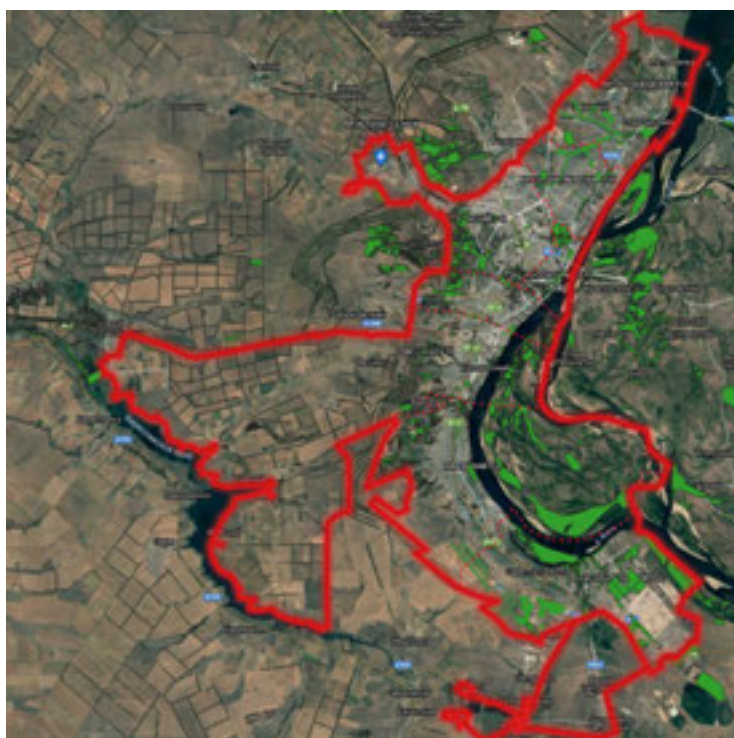


Рис. 4. Зеленый фонд Волгограда по состоянию на 2019 г. (googlemaps.com)

Для реконструкции городских парков можно использовать расширенный ассортимент растений, но для других зеленых объектов города лучше использовать газоустойчивые растения, так как эти территории больше подвержены загрязнению воздуха из-за сильного дорожного трафика. Растения с меньшей устойчивости к загазованности можно сажать в жилых группах, скверах при общественных зданиях, если позволяет их внутренняя планировка. В качестве основных пород деревьев для реконструкции этих городских парков можно предложить наиболее устойчивые в данных климатических условиях виды, такие как клен ясенелистный, клен татарский, дуб черешчатый, вяз обыкновенный, ива козья. В ассортименте среднеустойчивых видов можно рекомендовать ясень пенсильванский, тополь серебристый, тополь бальзамический, березу пушистую, калину обыкновенную и др. [1, 3—5, 12, 15—18].

Для реконструкции и облагораживания городских лесопарков и пойменных территорий необходимо максимально учитывать все природные факторы,

и особенно микроклиматические, а именно: рельеф, почву, степень загрязненности воздуха, преобладающие ветра и экспозицию склонов.

При реконструкции рекреационных территорий можно выбирать растения любого типа газоустойчивости, но, исходя из предыдущего пункта, есть определенная зависимость: чем меньше загрязнен воздух и более отдален от эпицентра загрязнения, тем больше и свободнее выбор ассортимента растений по этому фактору. Но при этом территории пойм рек являются территориями повышенной влажности, что сказывается на более широком выборе флоры для их реконструкции. Для этого вида реконструкции зеленых объектов подойдут следующие виды: вяз обыкновенный, вяз гладкий, бузина красная, сирень обыкновенная, яблоня сибирская, дерен белый, различные виды таволги и др. [1, 3—5, 8, 9, 15, 16, 18].

Для реконструкции и озеленения дорожно-транспортной сети города нужно учитывать категории дорог и особенности повышенного загрязнения. При этом сажаются только газоустойчивые растения, так как они находятся в непосредственной близости от массового движения автомобилей. Здесь подойдут виды растений, устойчивые к выбросам углекислого газа: вяз обыкновенный, клен ясенелистный, лох серебристый и др.; а также устойчивые и к выбросам окислов азота: барбарис Тунберга, ива козья, жимолость татарская и им подобные.

Изучив данный материал, можно сказать, что история зеленой системы Волгограда непростая, но интересная, как и сама история города вообще. При этом, пройдя сложный путь от сельскохозяйственных угодий крепости Царицына до современного сложного комплекса зеленых объектов крупнейшего города с населением более миллиона жителей, сам комплекс этот требует необходимой и желательной срочной массовой реконструкции, поскольку такая зеленая система необходима для обеспечения комфортной и качественной жизни всех ее граждан в настоящем и будущем, особенно в засушливом регионе Нижнего Поволжья [1, 3—6, 8, 12, 16, 19, 20].

Для улучшения экологической ситуации, особенно в городских условиях, для лучшей, комфортной и безопасной жизни человека наиболее эффективным способом является озеленение территории. Это требует особых знаний в ботанике, градостроительстве и даже в сельском хозяйстве. Также такие проекты требуют больших затрат, но это оправдано целью — улучшением экологии. Чем лучше подобран ассортимент растений под условия природы, тем эффективней будет процесс улучшения среды вообще.

Создание внутригородских зеленых объектов часто зависит от социально-экономических проблем, одной из которых можно назвать проблему регулярного характера — содержание и уход за зелеными насаждениями. То есть растения требуют постоянного ухода, от полива до обрезки лишних ветвей. Если не проводить подобные операции, то растения утрачивают защитные функции и у них сокращается продолжительность жизни.

Опыт озеленения территорий населенных пунктов Нижнего Поволжья и особенно Волгограда имеет много положительных примеров в своей истории. Воспользовавшись преемственностью истории озеленения своего города и многолетним опытом зеленого строительства, можно создать систему озеленения города, которая станет образцом городского озеленения в непростых природных условиях Нижнего Поволжья и его городов по всему региону.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А., Чернявская Т. А.* Региональные основы ландшафтной архитектуры. Волгоград : ВолГАСУ, 2005. 187 с.
2. Сталинград : справ. кн. / Сост. М. Герасимов и др. ; под ред. К. Нефедова. Сталинград : Краевое книгоиздательство, 1936. 269 с.
3. Природные условия и ресурсы Волгоградской области / Под ред. В. А. Брылева. Волгоград : Перемена, 1995. 264 с.
4. *Чернявская Т. А., Лиманская Т. Н.* Возможности реконструкции современных городских парков на примере г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 205—215.
5. *Чернявская Т. А., Лиманская Т. Н.* Оценка перспектив использования ландшафтно-исторического потенциала территории центрального парка г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 271—277.
6. *Garber K.* Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Berlin — Nikolassee, 1967. 279 p.
7. *Етеревская И. Н., Самойлова Н. В., Чернявская Т. А., Емельянова О. Е.* Методические и экологические основы архитектурной дендрологии : учеб.-метод. пособие. Волгоград : ВолГТУ, 2017. 134 с.
8. *Чернявский Ю. В.* Научно-практический опыт искусственного лесоразведения на территории Нижнего Поволжья : моногр. Волгоград : Сфера, 2021. 132 с.
9. *Березина Н. А., Афанасьева Н. Б.* Экология растений : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2009. С. 246—252.
10. *Птичникова Г. А.* Ландшафтно-экологический подход к организации городских пространств городов Юга России // Архитектура. Строительство. Дизайн. 2008. № 1. С. 19—21.
11. The Landscape Urbanism Reader 2006. Library of Congress Cataloging-in-Publication // The landscape urbanism reader / Ed. Ch. Waldheim. 1st ed. New York, 2006.
12. *Калмыкова А. Л., Терешкин А. В.* Садово-парковое строительство и хозяйство : учеб. пособие. М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2012. 240 с.
13. *Barresi A., Pultrone G.* European strategies for smarter cities // Journal of Land Use, Mobility and Environment. 2013. Vol. 6. Iss. 1 Pp. 61—72.
14. *Tate A.* Urban parks: functions, funding and futures // Green places. 2006. No. 8. Pp. 22—27.
15. Ассортимент деревьев и кустарников для мелиорации агро- и урболандшафтов засушливой зоны : науч.-метод. рекомендации / Под ред. А. В. Семенютиной. М. — Волгоград : Россельхозакадемия : ВНИАЛМИ, 2002. 60 с.
16. *Чернявская Т. А.* Геоэкологические особенности Нижнего Поволжья как основа территориального проектирования // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Естеств. науки. 2007. Вып. 6(23). С. 104—109.
17. *Dixon T.* Sustainable urban development to 2050: complex transitions in the built environment of cities. Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University, 2011. URL: <http://www.retrofit2050.org.uk/sites/default/files/resources/WP20115.pdf>.
18. *Corner J.* Terra fluxus // The landscape urbanism reader / Ed. Ch. Waldheim. New York : Princeton Architectural Press, 2006. Pp. 21—32.
19. *Чернявский Ю. В.* Перспективы использования малопригодных земель засушливых зон // Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации. 2016. С. 276—280. URL: http://cnshb.ru/jour/j_g.asp?id=6328.
20. *Thomas M. D.* Gas damage to plants // Annual Rev. of Plant Physiology. 1951. Vol. 2.

© Чернявская Т. А., Ушаков В. В., 2022

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Чернявская Т. А., Ушаков В. В. Историческое развитие и состояние системы озеленения Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 198—207.

Об авторах:

Чернявская Татьяна Антоновна — канд. биол. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; urbanistika-14@mail.ru

Ушаков Владимир Владимирович — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vladimir_ushakov_96@mail.ru

Tatiana A. Chernyavskaya, Vladimir V. Ushakov

Volgograd State Technical University

HISTORICAL DEVELOPMENT AND CONDITION LANDSCAPING SYSTEMS OF THE CITY OF VOLGOGRAD

The article contains materials on the study and analysis of the historical dynamics of the development of the greening system of the city of Volgograd, from its foundation to the present day as an urban settlement. The development and state of this system, together with its geography from the end of the 16th century to the present, is described. To preserve and improve the greening system and its components in the city of Volgograd, the main measures to solve this problem are proposed.

Key words: urban greening, historical development and state, urban greening system, woody plants, Volgograd city.

For citation:

Chernyavskaya T. A., Ushakov V. V. [Historical development and condition landscaping systems of the city 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], 2022, iss. 2, pp. 198—207.

About authors:

Tatiana A. Chernyavskaya — Candidate of Biology, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; urbanistika-14@mail.ru

Vladimir V. Ushakov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vladimir_ushakov_96@mail.ru

УДК 719

М. М. М. Аль Баадани, Ю. В. Янушкина

Волгоградский государственный технический университет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ В АРАБСКИХ СТРАНАХ (НА ПРИМЕРЕ СТАРОГО ГОРОДА САНЫ, ЙЕМЕН)

Отсутствие исторических связей между местными жителями и окружающим их градостроительным наследием в арабских странах приводит к разрушению уникальных памятников мирового значения. Существует необходимость выработки комплексной градостроительной политики по сохранению наследия и развитию исторических территорий. В качестве одного из вариантов успешной реализации подобной политики рассматривается адаптация к современному использованию наследия Старого города Саны в Йеменской Республике.

К л ю ч е в ы е с л о в а: охрана градостроительного наследия, благоустройство исторических территорий, Старый город Саны.

Градостроительное наследие в арабских странах подвержено множеству проблем. Наиболее актуальные из этих проблем связаны с недостаточным уровнем осведомленности местного населения о ценности наследия¹. В конечном итоге пренебрежительное отношение к историческому наследию приводит не только к его потере, но и к разрушению духовности и утрате культурной идентичности. Это определяет особую актуальность изучения проблемы сохранения градостроительного наследия.

Во многих арабских городах наследие тесно интегрировано в современную жизнь. Так, меина — особый тип средневекового исламского города — обладает не только материально-художественной ценностью, но и особым типом организации социального пространства. Обнесенные стенами меины с их лабиринтами переулков и базаров кажутся ожившими древними городами, поднятыми со страниц средневековых книг. Но для их жителей, преимущественно ремесленников, использующих традиционные технологии, они по-прежнему являются чем-то обыденным. В этом ряду наиболее впечатляющими являются старые города Йемена, такие как Сана, Шибам и Забид, с их высокими коричневыми глинобитными башнями, облицованными белой штукатуркой; сейчас эти города постепенно покидает молодежь².

Проблема сохранения градостроительного наследия многоаспектна. В арабском регионе она усугубляется напряженной политической обстановкой. Например, Йемен, одна из беднейших стран Ближнего Востока, уже семь лет страдает от вооруженного конфликта. На фоне эскалации международной напряженности и междоусобных конфликтов проблема сохранения градостроительного наследия отходит на второй план, но это не отменяет историко-культурной ценности градостроительного наследия и необходимости его сохранения в качестве основы для построения мирного будущего.

¹Terrorist attacks damage Pakistan Buddha.
URL: <https://web.archive.org/web/20080513192745/http://whc.unesco.org/en/news/383>.

² Cultural heritage and development: a framework for action in the Middle East and North Africa / The International Bank for Reconstruction and Development. N. W., Washington, 2001. 102 p. P. 12.

В долгосрочной перспективе градостроительное наследие в первую очередь подвержено влиянию негативных факторов окружающей среды: экстремальных температур, резкого колебания грунтовых вод, чрезвычайных природных явлений, воздействия промышленных выбросов и вибрации. Экономические проблемы, связанные с повышением стоимости земли в городах, особенно в центре, также провоцируют снос исторических построек. Во многих развивающихся арабских странах ощущается острая нехватка источников финансирования проектов по благоустройству исторических территорий. Существенную угрозу для градостроительного наследия в арабских странах представляет обострение жилищного вопроса, связанного с быстро меняющейся военно-политической ситуацией. Особую проблему организационно-технического характера представляет отсутствие квалифицированного персонала, способного выполнять или контролировать реализацию проектов по сохранению градостроительного наследия³ [1].

Будучи невозобновляемым ресурсом, объекты культурного наследия требуют постоянного внимания и защиты от всех видов угроз, которые могут исходить от человека или природных факторов. Существующие законы по охране градостроительного наследия в арабских странах фактически не работают. Посягательство на древние постройки — распространенное явление, возникающее вследствие слабого наказания, примененного в случаях их сноса или умышленного повреждения. Это во многом обусловлено изменением социальной структуры территорий, миграцией коренных народов и замещением их населением с иными потребностями, часто более низкого уровня развития цивилизации. Отсутствие исторических связей между жителями и окружающим их градостроительным наследием приводит к разрушению и даже полному уничтожению уникальных памятников мирового значения⁴.

Так, к проблемам сохранения градостроительного наследия, связанным с человеческим фактором, следует отнести:

- отсутствие осознания эстетической и исторической ценности градостроительного наследия, приводящее к сносу уникальных зданий в результате низкого культурно-образовательного уровня населения;
- отсутствие планового технического обслуживания исторических зданий и изменение архитектурной стилистики памятников;
- несоблюдение международных научных требований к сохранению и восстановлению градостроительного наследия;
- туристическая индустрия, активно развивающаяся в современном мире, превращает архитектурную неповторимость исторических городов арабского мира в хорошо продаваемый товар [2].

Решение проблем сохранения градостроительного наследия требует разработки комплексной политики, направленной на обновление и развитие исторических территорий [3]. В зависимости от масштаба градостроительного наследия выделяются два основных направления ее разработки:

³ Там же.

⁴ يفكر العالم (Арабское культурное наследие... несколько проблем.)
URL: <https://www.shorouknews.com/columns/view.aspx?cdate=28092020&id=5ec1673c-eb1b-4b64-bac4-5170a3616293>. [На араб. яз.]

1. Сохранение локальных архитектурных объектов — ограничительные меры по сохранению и поддержанию архитектурно-пространственной лексики с определенными историческими, культурными или визуальными характеристиками. Это направление связано с реставрацией единичных памятников архитектуры, устраняющей искажения, появившиеся в результате трансформации окружающей городской среды.

2. Сохранение городской среды — административное управление территориями, которое определяет стратегии ухода и поддержания городской ткани исторического характера, представленной как зданиями, так и взаимосвязанными городскими общественными пространствами [4].

Поскольку мы имеем дело с сохранением не только материальных объектов, но исторического духа места, усилия должны быть направлены на реализацию одних и тех же множественных целей, независимо от того, на каком масштабном уровне осуществляются мероприятия. Предлагается следующая классификация стратегических целей:

Эстетические и символические цели:

- защита градостроительного наследия от разрушающих факторов;
- сохранение индивидуальных образных характеристик городской среды.

Исторические и культурные цели:

- поддержание многослойности городской среды и сохранение ее исторической преемственности путем передачи культурных значений из поколения в поколение [8];

- сохранение региональных особенностей морфологии городской ткани [9].

Социальные цели:

- повышение осведомленности местного населения о важности сохранения градостроительного наследия;
- разработка программ массового участия и поощрение самостоятельных усилий местного населения по сохранению градостроительного наследия.

Экономические цели:

- развитие туристической инфраструктуры;
- поиск финансирования для реализации программ по консервации и обслуживанию градостроительного наследия [5].

Основные цели политики сохранения градостроительного наследия можно резюмировать следующим образом: приспособление с учетом сохранения уникальных особенностей и обеспечения преемственности всего, что имеет материальную и нематериальную ценность⁵[2]. Термин «приспособление», или «адаптация», подразумевает сохранение объектов градостроительного наследия таким образом, чтобы они не теряли своей исторической ценности, но при этом соответствовали современным требованиям комфорта [4, 6].

Адаптация градостроительного наследия к современному использованию может стать отправной точкой градостроительного развития. Этого можно достигнуть при выполнении ряда требований:

1. Обеспечение соответствующей прибыли, которая покрывает расходы на содержание объектов градостроительного наследия. В сфере охраны градостроительного наследия рыночные механизмы функционируют не всегда

⁵ Там же.

эффективно. Часто требуется вмешательство государства, которое через бюджетные механизмы финансирования должно обеспечивать доступность наследия и выгоды для всех его потенциальных пользователей [7, с. 125]. В то же время нехватка государственных ресурсов требует более энергичного участия частного, негосударственного финансирования.

2. Интеграция объектов градостроительного наследия с его текущим окружением, использование наследия для удовлетворения потребностей окружающего сообщества и сохранения исторического облика территорий. Интеграция новых пространственных ценностей в оригинальную историческую градостроительную ткань порождает качественно новое явление в арабских городах — гибридные места. Как показывает опыт, соединяя непрерывность, сложность и разнообразие в исторически богатом градостроительном контексте, существующий характер этого гибридного места может быть лучше интегрирован и развит с помощью «низовых инициатив» [8, с. 90].

3. Насыщение деградировавших территорий необходимыми услугами без необходимости строительства новых зданий. Данное требование можно рассматривать как более консервативный вариант гибридизации, заключающийся в привнесении нового содержания без изменения сложившихся форм градостроительных контекстов.

4. Использование объектов градостроительного наследия в качестве туристических достопримечательностей [9, 10].

5. Создание постоянного надзора за объектами градостроительного наследия через пользователей и бенефициаров.

6. Обеспечение непрерывности работ по техобслуживанию объектов градостроительного наследия.

Это наиболее общие требования, которых следует придерживаться в сфере адаптации градостроительного наследия к вызовам современности, но в каждом конкретном случае они будут иметь свои региональные нюансы.

Рассмотрим проект по сохранению Старого города в Сане. Сана — столица Йеменской Республики и один из крупнейших городов в северной части страны. Историческая часть Саны представляла собой целостный ансамбль средневекового йеменского города, по своей величине и сохранности один из самых крупных в арабском мире. Старая Сана уникальна, ее архитектуре более тысячи лет. По легенде, этот город основал один из сыновей Ноя, Сим. Согласно официальной истории, город основан во II в. до н. э., в эпоху Сабейского царства, а в 7 в. н. э. здесь был принят ислам. До революции 1962 г. этот исламский город существовал практически изолированно от внешнего мира, благодаря чему его архитектурный облик сохранился почти в первоизданном виде.

В начале 1980-х гг. в связи с открытием нефтяных месторождений Сана стала активно развиваться, и возникла опасность ее разрушения. В 1986 г. Старый город Саны был внесен в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО, а в 2015 г. он подвергся разрушениям в результате вторжения в Йемен сил саудовской коалиции. В 2020 г. ЮНЕСКО обследовала около 8 тыс. исторических зданий в Старом городе и за свой счет отреставрировала 87 из них, бывших фактически на грани разрушения [14].

Архитектурный язык Старого города Саны выражает ценности, порожденные взаимодействием окружающей среды и йеменского общества. Город

расположен в высокогорном районе на высоте 2300 м над уровнем моря. В прошлом он занимал небольшую территорию, но в исламские эпохи был расширен. В Средние века Сану называли «Многобашенной», поскольку для того времени она обладала единственным в своем роде архитектурным обликом, представленным высокоплотной застройкой в виде многоуровневых зданий из кирпича-сырца, украшенных сложными геометрическими узорами.

Общая площадь территории Старого города в Сане около 150 га. Он разделен на районы в соответствии с племенным распределением. Все новое строительство характеризуется совмещением принципов традиционной архитектуры с современными потребностями жителей (рис. 1). На сегодняшний день в старом городе Саны находится 46 мечетей, 14 караван-сарая, 12 общественных бань и около 6500 жилищ, построенных до XI в. От кварталов более современной застройки Старый город Саны отделен укрепленной стеной с шестью воротами.



Рис. 1. План Старого города Саны

Градостроительная ткань Старого города Саны отличается традиционным характером (рис. 2, 3). Находящийся на перекрестке торговых путей, он начал формироваться с рынка Сук-эль-Мил, представляющего собой множество маленьких рынков, каждый из которых специализируется на каком-то определенном товаре. Торговые ряды начинаются у главных ворот Баб-эль-Йемен и доходят до площади у Большой мечети, построенной во времена пророка Мухаммеда, и затем опять, превращаясь в торговую улицу, тянутся через весь город до ворот Баб-Аль-Шууб [11, с. 83].



Рис. 2. Переулки в районе Аль-Абхар. Старый город Саны, 2020



Рис. 3. Переулок Ликвид в районе Аль-Сайла. Старый город Саны, 2020

В Старом городе практически в каждом квартале находится мечеть с площадью, маркирующей центр общественной жизни. Обязательное ежедневное соблюдение религиозных обрядов предопределяют устойчивость этой системы и ее дальнейшее развитие [12, с. 85]. Также Старый город Саны отличается равномерным распределением зелени в виде бустанов — плодовых садов (рис. 4). Бустаны играют значительную экологическую и эстетическую роль в высокоплотной застройке. Самые большие бустаны, как правило, разбивались около мечетей в качестве вакфа (благотворительного пожертвования), поэтому священнослужители могут продавать выращенные плоды местному населению⁶.

⁶ Абдо Сейф Аль-Сельви А. Социокультурные факторы формообразования пространственных структур исторического поселения : автореф. ... дис. канд. архитектуры. Н. Новгород, 2013. 24 с. С. 15.



Рис. 4. Бустан в районе Баб Аль-Саббах. Старый город Саны, 2020

Градостроительные принципы, на основе которых формировался Старый город, обусловлены внутренними социально-культурными факторами. В общей массе люди не склонны менять образ жизни и соответствующие ему принципы градостроительного планирования и типологии архитектуры. С древних времен в Санае была выработана уникальная градостроительная культура, основу которой составляют формы компактного проживания большесемейной общины — клана, или байта, родственников, происходящих от общего предка. Характерная особенность планировочной структуры Старого города Саны заключается в воспроизводстве этих устойчивых паттернов городской среды, подобном росту клеток биологической ткани.

Изучение механизмов исторической преемственности градостроительных традиций и социально-пространственной организации поселений, связанных с особенностями природного и культурного ландшафта, определяющими жизнь его обитателей, может стать основой разработки современных, экологически ориентированных подходов к проектированию и реконструкции городской среды. Наиболее перспективными направлениями здесь представляются:

- разработка принципов экологии визуального восприятия как основы формирования культурной идентичности местных сообществ;
- экономия материальных ресурсов за счет использования традиционных архитектурно-планировочных принципов, сформировавшихся в определенных ландшафтно-климатических условиях.

Авторы полагают, что разрешение проблем, связанных с сохранением и актуализацией градостроительного наследия, должно способствовать снятию напряженности в сфере формирования национальной и культурной идентичности. Нельзя недооценивать роль градостроительного наследия как основы для построения нового мирного будущего.

Осознание органами государственной власти и местным населением ценности особенностей градостроительного развития Саны облегчает задачу сохранения Старого города. Существует реставрационная экспертиза, курирующая техническое обслуживание и ремонт исторических зданий. Опыт реставрации в городе унаследован обычными строителями и входит в их регулярную работу [13]. Жители Старого города постоянно подновляют свои

дома, особенно к праздникам. Любовь местного населения к обновлению и красоте во многом способствовала сохранению этого города в его практически первозданном облике.

Тем не менее градостроительное наследие Саны страдает от множества проблем. Наиболее серьезные из них:

- миграция жителей, бросающих свои дома, не соответствующие современным представлениям о комфорте, а также из-за плохого санитарно-гигиенического состояния улиц (мусор, отходы животноводства);
- аварийное состояние подземных сетей водопровода и канализации, приводящее к оседанию фундаментов и образованию трещин в зданиях;
- затрудненное транспортное движение из-за отсутствия твердого дорожного покрытия и размывания илистой почвы в дождливый период;
- удушье в засушливый период, вызванное загрязнением воздуха автомобильными выхлопами из-за пробок на узких улицах [13].

С 1987 г. и по настоящее время при поддержке со стороны ЮНЕСКО и других внешних организаций ведутся работы по сохранению градостроительного наследия Саны, включающие:

- модернизацию сети водоснабжения, канализации, введение телефонных линий и линий электропередач;
- восстановление и повторное использование заброшенных построек;
- поддержка и прямое техническое обслуживание проектов, выполняемых частными лицами в Старом городе;
- обучение йеменских архитекторов-реставраторов и строителей у иностранных специалистов;
- расширение спектра культурно-бытового обслуживания и создание экологически благоприятных условий для жизни населения [14].

Местными организациями, осуществляющими охранные мероприятия, являются Генеральное управление по сохранению исторических городов Йемена и Управление по сохранению старой Саны. При поддержке Всемирного банка был разработан проект городского развития Саны. С учетом роста населения и чтобы он не создавал угрозы старому городу, запланировано строительство новых жилых комплексов, отвечающих современным требованиям экологии и комфорта.

Выводы

В результате реализации стратегии по сохранению градостроительного наследия Саны удалось приостановить разрушение Старого города, частично улучшить качество коммунальных услуг и обеспечить условия для поддержания здоровья населения. Несмотря на отсутствие необходимых технологий и достаточного количества обученного персонала, осведомленность местного руководства о ценности исторического наследия помогает сохранить архитектурный облик города. Перенимаемый местными жителями опыт восстановления и обслуживания старых построек позволяет надеяться на сохранение уникального градостроительного наследия Саны для будущих поколений. Наиболее перспективным подходом к сохранению градостроительного наследия в Йемене показал себя механизм подключения к этому процессу местных сообществ, когда небольшие по объему инвестиции вливаются в большое количество проектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. الحفاظ وطرائق والتلف الدمار أسباب: العربي الوطن في الحضاري التراث، صالح أشرف (Caiy-ed A. C. M. Культурное наследие в арабском мире: причины разрушения и повреждения и методы сохранения // Арабская организация административного развития. Симпозиум по сохранению культурного наследия в арабском мире: между теорией и практикой. Аль-Бара : Иорданский университет, 2009.) URL: https://www.academia.edu/16869783/Cultural_Heritage_in_the_Arab_World_Causes_of_Destruction_Damage_and_Preservation_Methods. [На араб. яз.]
2. بها والإرتقاء الأثرية المواقع عمى الحفاظ استراتيجيات (Джассим А. М. Стратегии сохранения и обновления археологических памятников.) URL: <https://www.ajsp.net/research/بهاوالإرتقاءالأثريةالمواقععلىالحفاظاستراتيجيات.pdf>. [На араб. яз.]
3. Ястребова Н. А. Градостроительное зонирование как вид научной деятельности в системе охраны территориальных объектов культурного наследия // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 185—195.
4. القيمة ذات التراثية بالنطاقات الإرتقاء (Рувайли А. Модернизация ценных исторических мест. Сравнительное исследование политики сохранения градостроительного наследия.) URL: <https://www.academia.edu/35472904>. [На араб. яз.]
5. Мохамед М. Шауки Абу Лайла, Вадих бин Али Аль-Баркави. Методологии сохранения городского и архитектурного наследия в арабских странах // Первая междунар. конф. по устойчивому развитию: экологическая эффективность для благополучия человека (EBQL), 2018. URL: https://www.academia.edu/46726226/Methodologies_for_Preservation_of_Urban_and_Architectural_Heritage_in_Arab_Countries. [На араб. яз.]
6. Мягков М. С. Микроклимат и биоклиматическая комфортность традиционной арабской застройки // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. Vol. 4. No. 49. Pp. 235—261. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/16_myagkov.pdf.
7. Cernea M. M. Economic development and cultural heritage: policy issues and unrealized potentials // Cultural heritage and development in the Arab world / Ed. F. Hassan, A. de Trafford, M. Youssef. Alexandria, Egypt : Bibliotheca Alexandrina, 2008. Pp. 111—144.
8. Galal Abada. Grassroot initiatives versus governmental efforts to preserve urban heritage in Egypt // Cultural heritage and development in the Arab world / Ed. F. Hassan, A. de Trafford, M. Youssef. Alexandria, Egypt : Bibliotheca Alexandrina, 2008. Pp. 89—109.
9. Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Баддур С. Потенциальные возможности формирования туристического комплекса в городе Латакия Сирийской Арабской Республики // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 160—167.
10. Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Баддур С. Организация градостроительных условий для обеспечения развития туристических комплексов в городах Сирии // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 211—220.
11. Абдо Сейф Аль-Сельви А. Общественные здания Старой и Новой Саны (преемственность поколений и традиций) // Вестн. ИРГТУ. 2012. № 9(68). С. 82—89.
12. Аль-Факри О. А. Планирование Старого города Саны (Йеменская Республика) // Вестн. МГСУ. 2011. № 1. С. 13—18.
13. SANA'A. The Restoration of the Samsarat al-Mansurah / M. Petzet et al.. Munich, 1995. 124 p.
14. Pini D. The inventory of the historic city of Sana'a. A tool for urban conservation. UNESCO Press, 2008.

© Аль Баадани М. М. М., Янушкина Ю. В., 2022

Поступила в редакцию
в феврале 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Аль Баадани М. М. М., Янушкина Ю. В. Актуальные проблемы сохранения градостроительного наследия в арабских странах (на примере Старого города Саны, Йемен) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 208—217.

Об авторах:

Аль Баадани Мансур Мохаммед Мансур — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; mansoor12345mm@hotmail.com

Янушкина Юлия Владимировна — канд. архитектуры, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ya.ianoosh2006@yandex.ru

Al Baadani Mansur Mohammed Mansur, Yuliya V. Yanushkina

Volgograd State Technical University

ACTUAL PROBLEMS OF URBAN HERITAGE PRESERVATION IN ARAB COUNTRIES (BY THE EXAMPLE OF THE OLD CITY OF SANA'A, YEMEN)

The lack of historical connections between local residents and the surrounding urban heritage in the Arab countries leads to the destruction of unique monuments of world significance. There is a need for an integrated urban planning policy for heritage preservation and the development of historic areas. As one of the options for the successful implementation of such a policy is considered an adaptation to the modern use of the heritage of the Old City of Sana'a in the Republic of Yemen.

К е у о р д с: protection of urban planning heritage, improvement of historic areas, Old City of Sana'a.

For citation:

Al Baadani M. M. M., Yanushkina Yu. V. [Actual problems of urban heritage preservation in Arab countries (by the example of the Old city of Sana'a, Yemen)]. *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], 2022, iss. 2, pp. 208—217.

About authors:

Al Baadani Mansur Mohammed Mansur — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; mansoor12345mm@hotmail.com

Yuliya V. Yanushkina — Candidate of Architecture, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ya.ianoosh2006@yandex.ru

УДК 711.4:504.6:656

В. В. Балакин

Волгоградский государственный технический университет

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ
ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ АЭРАЦИОННОГО РЕЖИМА
И СНИЖЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

Установлены закономерности трансформации воздушного потока по скорости и направлению и распределения загрязняющих веществ на поперечном сечении улиц с изменением их ширины, высоты и плотности застройки. Выявлены планировочные условия, сопутствующие формированию устойчивого вихря и повышенного загрязнения атмосферного воздуха, которое связано с замкнутой циркуляцией выбросов автомобилей в уличных каньонах. Обоснована необходимость выбора градостроительных решений по формированию комфортной городской среды в различных географических районах с характерным годовым ходом климатообразующих факторов.

Ключевые слова: климат, рельеф, архитектурно-планировочная структура города, жилые районы, общественные пространства, выбросы автомобилей, застройка, озеленение, скорость ветра, рассеяние, качество атмосферного воздуха.

Введение

В градостроительной проектной практике могут быть учтены многие факторы, от которых зависит уровень концентрации в воздухе жилых районов примесей, выбрасываемых автомобильным транспортом. При выборе территории и зонировании ее по назначению освоения, определении взаиморасположения фокусов тяготения и направления трассы транспортных коммуникаций в поселениях практически решается вопрос о количественном перераспределении выбросов автомобильного транспорта в приземном слое атмосферы. Наиболее существенными факторами и условиями, определяющими качество воздушной среды жилых территорий на стадии генерального плана, являются интенсивность движения транспорта на главных направлениях грузо- и пассажиропотоков, архитектурно-планировочная структура города, общеклиматический и ветровой режимы, лесорастительные и орографические особенности местности. На стадии проектов детальной планировки жилых образований градостроительные мероприятия по охране атмосферного воздуха от загазованности базируются на тех закономерностях, которым подчинен процесс формирования начальных концентраций выбросов автомобильного транспорта и их дальнейшего распространения в городской застройке.

Уровень концентрации токсичных веществ в воздухе городских улиц устанавливается в результате баланса между интенсивностью их поступления в воздушный бассейн и интенсивностью рассеяния в окружающее пространство. Поступление загрязнителей определяется количеством их выброса на единицу пути и числом автомобилей, проходящих этот участок в единицу времени. Рассеяние ингредиентов, происходящее на небольшой высоте, определяется главным образом скоростью ветра, а также размерами поверхности, через которую осуществляется диффузия [1]. Роль застройки в формиро-

вании уровня загрязнения воздуха городских улиц проявляется в ограничении площади такой поверхности, а также в изменении скорости и направления ветра [2]. Поэтому пространственно-временная динамика загрязнения воздуха на застраиваемых участках улично-дорожной сети (УДС) города определяется, с одной стороны, изменением интенсивности и скорости транспортных потоков, а с другой — шириной улиц, плотностью застройки и ветровым режимом [3, 4].

В общем виде градостроительные средства регулирования ветрового режима на территории населенных мест обозначены в теоретической модели Ф. Л. Серебровского [5], согласно которой скорость ветра в произвольной точке i в нижнем (приземном) ярусе воздушных масс может быть рассчитана по формуле

$$u_i = u_0 K, \quad (1)$$

где u_0 — исходная скорость ветра, измеренная на метеостанции; K — итоговый коэффициент трансформации воздушного потока по скорости в условиях населенного места, учитывающий воздействие шероховатостей различного ранга, при этом

$$K = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (2)$$

где $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ — коэффициенты трансформации, определяющие влияние на скорость ветра крупных неровностей рельефа, высота которых более чем в два раза превосходит высоту застройки средней этажности τ_1 , массивов застройки τ_2 , отдельных зданий и фрагментов застройки τ_3 , неровностей почвы, кустарника, газона, проездов, тротуаров и других элементов благоустройства τ_4 .

Таким образом, при формировании жилых районов может использоваться широкий спектр средств регулирования их аэрационного режима на макроуровне (до 200 м), мезоуровне (до 25 м) и микроуровне (до 3 м), в соответствии с детализованной структурой нижнего яруса воздушного пространства поселений [6].

Воздействие городских улиц на воздушный поток учитывается в формуле (2) коэффициентом трансформации τ_3 , отражающим изменение скорости и направления ветра под влиянием элементов застройки. Главной особенностью данных объектов транспортной инфраструктуры является вытянутая форма в плане с характерным композиционным объединением фрагментов застройки различной этажности и протяженности, причем уровень загрязнения воздуха на них может существенно различаться из-за изменения скорости ветра. Влияние скорости ветра на начальную концентрацию оксида углерода СО — ведущего токсичного компонента отработавших газов (ОГ) автомобилей в воздухе магистральных улиц — оценивается коэффициентом корреляции r в пределах 0,70...0,78, что соизмеримо с влиянием интенсивности движения автомобилей ($r = 0,85...0,90$) [7].

Как показывают результаты натурных наблюдений в крупных городах, при скорости ветра 3...4 м/с максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК) таких компонентов ОГ автомобилей, как СО, диоксид азота NO_2 и углеводороды C_nH_m обеспечиваются на 40...70 % общей протяженности магистральных улиц [8]. Такие скорости ветра являются

комфортными и субкомфортными в теплое время года, а в холодный период года — при температурах воздуха до -5°C ¹. Это дает возможность использовать территории для селитебных и рекреационных целей в достаточно широком диапазоне температуры и относительной влажности воздуха, соответствующем общему комфортному состоянию городской среды. В связи с этим возникает необходимость в изучении влияния геометрических параметров поперечного профиля, плотности и приемов планировки застройки магистральных улиц на характеристики ветрового потока и качество атмосферного воздуха. Первостепенное значение при этом имеет выявление случаев опасного загрязнения атмосферного воздуха транспортных коммуникаций и прилегающих территорий.

Материалы и методы

В целях изучения влияния застройки и ширины магистральных улиц на коэффициент трансформации скорости ветра τ_3 выполнена анемометрическая съемка с использованием моделей жилых зданий в масштабе 1 : 20, чашечных анемометров МС-13 и анеморумбометра МВ-4М. В эксперименте изменялись ширина улиц и плотность застройки ρ , определяемая по формуле

$$\rho = \frac{\sum l_i}{L_{\Pi}}, \quad (3)$$

где $\sum l_i$ — общая длина зданий по контуру участка улицы, м; L_{Π} — протяженность периметра участка улицы по линиям регулирования застройки и ширине, м.

Для интерпретации зависимостей τ_3 от геометрических параметров поперечного сечения улиц использован обобщающий геометрический критерий z :

$$z = \frac{b}{H}, \quad (4)$$

где b — расстояние от первого, обращенного к ветру, фасада здания до средней осевой линии между зданиями, м; H — средняя высота зданий по линии застройки, м.

Кроме того, проведены сплошные натурные обследования магистральных дорог и улиц в крупных городах III климатической области с определением параметров транспортных потоков, скорости ветра и концентрации СО в атмосферном воздухе.

Результаты и обсуждение

По результатам натурных наблюдений получена зависимость содержания СО в воздухе на высоте 1,5 м у края проезжей части магистральных улиц от скорости ветра:

$$q_{\text{CO}} = A \cdot e^{-\alpha u_0}, \quad (5)$$

где q_{CO} и u_0 — максимальная разовая концентрация СО, мг/м^3 , и скорость ветра, м/с , в пункте наблюдений; e — основание натуральных логарифмов;

¹ Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию размещения и развития производительных сил на территориях нового освоения и в промышленно развитых регионах. М. : НИИ общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина, 1983.

A — коэффициент, характеризующий абсолютное значение концентрации СО при штиле, когда $u_0 = 0$; α — коэффициент (табл. 1).

Кривые регрессии показаны на рис. 1. Здесь обращает на себя внимание тот факт, что на магистральных улицах более высоких категорий происходит наиболее интенсивное снижение концентрации СО при увеличении скорости ветра, что связано с эффектом турбулизации воздушных масс транспортными средствами, движущимися с более высокой скоростью.

Таблица 1

*Факторы, определяющие зависимость концентрации СО
от скорости ветра на магистральных улицах*

Категория магистральной улицы	N	V	p	r	η	α	n
Общегородского значения непрерывного движения	1500...1700 (1350...1550)	46 (30)	65 (71)	-0,74 (-0,61)	0,78 (0,66)	0,452 (0,430)	172 (165)
Общегородского значения регулируемого движения	900...1100	39	50	-0,63	0,71	0,437	261
Районного значения	450...600	33	35	-0,54	0,61	0,418	214

Примечание. N — интенсивность движения автомобильного транспорта, авт./ч; V — скорость транспортного потока, км/ч; p — доля грузовых автомобилей и автобусов в потоке, %; r — коэффициент корреляции; η — корреляционное отношение; α — коэффициент из формулы (5); n — число синхронных измерений концентрации СО и скорости ветра; в скобках — результаты наблюдений в холодный период года.

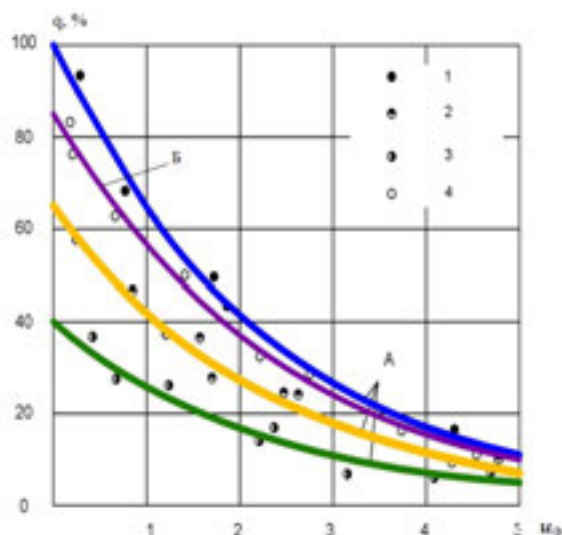


Рис. 1. Зависимость начальных концентраций СО в воздухе q от скорости ветра u_0 на магистральных улицах разных категорий: 1, 4 — магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения; 2 — то же общегородского значения регулируемого движения; 3 — то же районного значения; А — летом; В — зимой

По ходу кривых на рис. 1 также видно, что в интервале скоростей ветра 3...5 м/с разность уровней загазованности магистральных улиц с различными по интенсивности и структуре транспортными потоками сводится до минимума. Поэтому можно считать, что при таких скоростях ветер нивелирует уровень загрязнения воздуха на УДС города в целом.

Вследствие полного смешения выбрасываемой автомобилем газовой смеси с атмосферным воздухом их удельные веса становятся весьма близкими, поэтому отдельные компоненты выброса быстро теряют свою динамическую индивидуальность. Исходя из этого, можно считать, что полученные закономерности снижения концентрации СО в воздухе при увеличении скорости ветра являются репрезентативными в отношении всех газов, выбрасываемых потоками автомобилей на транспортных сетях городов.

Используя формулу (5), можно дать прогнозную оценку аэрационного режима вновь проектируемых или реконструируемых объектов транспортной инфраструктуры, с учетом обеспечения гигиенических нормативов ожидаемого содержания атмосферных загрязнителей, что возможно при соблюдении равенства

$$\text{ПДК}_j = A \cdot e^{-\alpha u_{\text{ПДК}_j}}, \quad (6)$$

где ПДК_j — предельно допустимая максимальная разовая концентрация учитываемого j -го компонента ОГ в воздухе, мг/м^3 ; $u_{\text{ПДК}_j}$ — скорость ветра, м/с, обеспечивающая разбавление j -го вещества в воздухе до ПДК .

После деления (5) на (6) и логарифмирования получим:

$$u_{\text{ПДК}_j} - u_0 = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{q_j}{\text{ПДК}_j}, \quad (7)$$

где q_j и u_0 — максимальная разовая концентрация j -го ингредиента в воздухе, мг/м^3 , и скорость ветра над краем проезжей части, м/с, в исходном варианте планировки объекта транспортной инфраструктуры, подлежащем корректировке.

Левая часть в уравнении (7) косвенно отражает аэрационный ресурс, необходимый для снижения концентрации отдельных компонентов ОГ в воздухе до гигиенического норматива градостроительными средствами.

По результатам исследований на моделях установлены значения коэффициента τ_3 , определяющего степень деформации набегающего воздушного потока по скорости под воздействием наиболее характерных типов двусторонней застройки улиц разной ширины (табл. 2). Для анализа влияния ширины улиц с фронтальной застройкой различной плотности на аэрационный режим построены корреляционные графики (рис. 2).

По характеру кривых на рис. 2 видно, что максимальное сохранение исходной скорости воздушного потока поперечного направления на улицах разной ширины достигается при точечной застройке ($l = l_c$) со значительными разрывами между зданиями в рядах ($l_0 \geq 30$ м). При этом ширина улиц незначительно влияет на их аэрационный режим (кривая 1). Однако сближение зданий точечного типа на линии застройки приводит к существенному снижению скорости воздушного потока. Из сравнения кривых 1 и 2 следует, что

скорость ветра на улицах можно снизить на 15...30 % путем сокращения расстояния между зданиями точечного типа в два раза.

«Тормозящее» действие застройки проявляется здесь за счет рассеяния энергии потока в многочисленных хаотичных по направлениям вихрях мелкого масштаба, возникающих у углов зданий по мере увеличения количества разрывов в застройке [9]. Воздействие этих вихрей на снижение скорости воздушного потока превосходит степень его деформации при обтекании зданий сверху. Такая особенность более выражена при точечной и двухсекционной застройке с разрывами между зданиями соответственно от 15 до 30 м и до 15 м (см. табл. 2). При этом на улицах шириной $B = (2...4)H$ показатели снижения скорости ветра у односекционной застройки (кривая 2) на 10...15 % больше, чем у двухсекционной застройки (кривая 3).

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты трансформации скорости ветра τ_z на городских улицах под влиянием застройки

Тип застройки	ρ	Значения τ_z в зависимости от критерия z						
		1,3	1,8	2,3	2,8	3,8	4,8	5,8
Точечная при ширине разрывов более 30 м	0,36	0,80	0,84	0,89	0,95	0,92	0,95	0,99
Точечная при ширине разрывов 15...30 м	0,53	0,65	0,71	0,70	0,68	0,74	0,89	0,98
2-секционная при ширине разрывов 15...30 м	0,54	0,80	0,86	0,85	0,84	0,86	0,94	0,99
2-секционная при ширине разрывов до 15 м	0,70	0,77	0,84	0,82	0,73	0,71	0,87	0,96
3-секционная при ширине разрывов до 15 м	0,79	0,85	0,94	0,84	0,94	1,00	0,99	1,00
4-секционная при ширине разрывов до 15 м	0,84	1,02	1,02	0,95	0,98	0,93	0,98	1,00
Многосекционная, без разрывов (каньон)	1	0,82	1,04	0,91	0,91	0,95	0,95	0,97

Боковые вихри могут оказать существенное влияние и на характер распределения поллютантов в застройке. Исследования Хойдиша и Дабберта показали [10], что адвекционные потоки, появляющиеся вблизи углов зданий, приводят к образованию зон повышенного загрязнения атмосферного воздуха у середины их подветренных фасадов.

Уплотнение застройки по длине улицы путем уменьшения количества и величины разрывов между зданиями с образованием каньона сопровождается появлением обратной циркуляции основного потока [10, 11]. Признаки такого движения появляются при ширине улицы $B = (1...2)H$ по мере перехода от точечной застройки к 2—3-секционной застройке при разрывах 15 м (кривые 3—5 на рис. 2). При многосекционной застройке улиц ($l \geq 3l_c$) шириной $B = (1...3)H$ или при $z = 1,2...2,2$ происходит усиление ветра в уличном пространстве. В данном случае замкнутые вихревые потоки, возникающие между противоположными зданиями при обтекании их поперечным ветром сверху, преодолевают сопротивление немногочисленных вихрей у углов зданий.

Затем происходит объединение отдельных вихревых зон, образованных отдельными зданиями, в единую область замкнутой циркуляции воздушных масс, охватывающую все уличное пространство. Дальнейшее уплотнение застройки с образованием каньона ($l = L$) приводит к усилению скорости ветра на улицах, при этом τ_3 достигает значения 1,07 (кривая 7). Это согласуется с подобными исследованиями, когда между промышленными зданиями при $B = (2...3)H$ были зафиксированы максимальные скорости ветра из-за устойчивого вихря круглоцилиндрической формы [12].

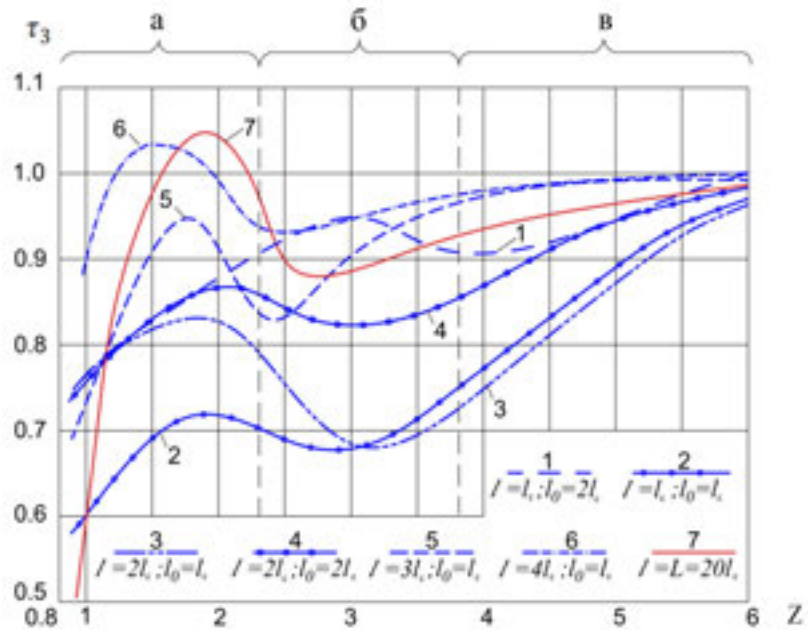


Рис. 2. Зависимость коэффициента трансформации воздушного потока τ_3 от критерия z при плотности застройки улиц ρ : 1 — 0,36; 2 — 0,53; 3 — 0,70; 4 — 0,54; 5 — 0,79; 6 — 0,84; 7 — 1 (каньон); l — длина зданий по линиям регулирования застройки; l_c — длина жилой секции (15 м); l_0 — величина разрыва между зданиями; L — протяженность участка улицы; а — обтекание по огибающей; б — турбулентно-струйное обтекание; в — изолированное обтекание

Как следует из результатов исследований Уехары и др. [13], связанных с визуализацией воздушного потока, наиболее сильный и устойчивый вихрь между зданиями появляется при $B = (1...2)H$, что в нашем эксперименте соответствует параметру $z = 1,3...1,8$. При этой ширине улицы основной воздушный поток находится в режиме обтекания «по огибающей» (а на рис. 3), согласно классификации режимов, наблюдаемых при воздействии строчной застройки на воздушный поток в жилом массиве [13—15]. В данном режиме обтекания концентрации ОГ оказываются наиболее высокими у подветренных стен первого по потоку ряда зданий, чем у наветренных стен второго ряда зданий, так как скорость восходящей части потока у наветренного здания становится ниже скорости нисходящей части у подветренного здания. Это происходит из-за потери кинетической энергии ветрового потока при преодолении встречного конвективного противотока у подветренного здания, а

также препятствий в виде «микрошероховатостей» — элементов озеленения и благоустройства (деревья, кустарники, газоны, откосы, подпорные стенки), а также выступающих частей зданий (балконы, эркеры и др.).

Стесненная фронтальная застройка в уличных каньонах выступает в качестве своеобразного стимулятора продольного движения воздушной массы в уличном пространстве. При незначительном отклонении направления ветра от перпендикуляра к оси улицы его кинетическая энергия направляется вдоль зданий, а вектор скорости получает винтообразную траекторию [4]. Такая планировочная ситуация может вызвать случаи опасного загрязнения атмосферного воздуха на достаточно протяженных участках УДС. Здесь необходимо обратить внимание на тот факт, что исторически сложившаяся застройка улиц, особенно в центральных планировочных районах, отличается повышенной плотностью. Размещение учреждений торгового, культурно-бытового и административного назначения в разрывах застройки вдоль главных магистралей общегородских центров приводит к переуплотнению застройки с образованием уличных каньонов и повышению загазованности уличного пространства, что оказывает самое неблагоприятное влияние на пешеходов, водителей подвижного состава и пассажиров общественного транспорта. Поэтому уличные каньоны представляют собой трудноразрешимую экологическую проблему, в связи с недостаточной аэрацией и повышенным загрязнением воздуха, особенно в зонах пешеходного движения и общественных пространствах, формируемых в границах городских улиц [16—18].

При $B > 3H$, согласно [19], вихрь между зданиями приобретает эллиптическую форму. При этом наблюдается, как это видно по ходу кривых на рис. 3, плавное снижение скорости его вращения. В обозначенной области значений z (a на рис. 2) трансформация ветра сохраняет признаки режима обтекания «по огибающей». Затем при некоторых критических значениях z в пределах $2,3 \dots 2,5$ происходит разделение основного потока или разрыв единой циркуляционной зоны между зданиями на две зоны с образованием двух вихрей. За наветренным зданием образуется рециркуляционная зона низкого давления, а на передней стене подветренного здания в зоне подпора появляется рециркуляционный вихревой поток высокого давления. В результате взаимодействия этих вихрей на улицах с различными типами застройки при значениях $z = 2,3 \dots 3,8$ или $B = (3 \dots 6)H$ происходит дальнейшее снижение скорости ветра до локального минимума. В данном случае наблюдается турбулентно-струйное обтекание воздушным потоком параллельно стоящих зданий (b на рис. 2).

С последующим увеличением ширины улиц B в интервале $(6 \dots 10)H$ (при $z = 3,8 \dots 6,0$) между вихрями низкого и высокого давления происходит плавное восстановление траектории и исходной скорости основного воздушного потока, приобретающего при этом, независимо от типа застройки улицы, признаки изолированного обтекания зданий (b на рис. 2).

При $z > 6$ или $B > 10H$ взаимодействие между двумя вихревыми потоками настолько мало, что его можно не учитывать, а здания рассматривать как «отдельно стоящие» [20]. В данном случае их воздействие на деформацию воздушного потока следует учитывать, согласно (2), через частный коэффициент трансформации ветра по скорости τ_2 в составе более сложных компоновок и массивов застройки в границах планировочных районов.

Таким образом, вероятность появления обратной циркуляции примесей в уличном пространстве может быть полностью исключена как при снижении плотности застройки, так и при назначении ширины улицы $B > 6H$. При застройке домами с минимальным числом жилых секций и больших разрывах между зданиями вдоль красной линии ширина улицы не оказывает заметного влияния на трансформацию ветра по скорости и направлению. Поэтому для достижения более эффективного воздухообмена на улицах следует максимально ограничивать количество участков, застраиваемых многосекционными фронтально расположенными зданиями.

Согласно численным экспериментам Кима и Байка [9], на эффективность рассеяния выбросов автомобилей в уличных каньонах заметное влияние оказывает геометрический критерий H/B — отношение средней высоты зданий по линиям застройки к расстоянию между ними. По результатам натурных наблюдений степень загазованности воздуха на участках магистралей, связанных с застройкой, при отношении $H/B = 1$ более чем в два раза превышает уровень его загрязнения, отмечаемый на участках без застройки, когда $H/B = 0$ [6]. С учетом нелинейного характера такой зависимости оптимальные размеры поперечного сечения магистральных улиц по условиям обеспечения необходимого качества атмосферного воздуха соответствуют значению параметра H/B не более $0,25 \dots 0,3$ или минимальной ширине улицы в пределах $3 \dots 4$ высот зданий.

В каньонах малой ширины при превышении некоторых критических значений H/B отмечается резкое падение скорости ветра, связанное с разделением единичного вихря в вертикальном направлении. При сближении рядов зданий по обеим сторонам улицы образуется сначала два, а затем три вихря противоположных направлений вращения [14]. При $H/B = 1,5 \dots 2,5$ в нижней и верхней частях каньона образуется по одному вихрю. В более узких каньонах (при $H/B \geq 3,5$) в нижней, средней и верхней части появляются три вихря.

С увеличением глубины каньонов и количества вихрей концентрации ОГ у проезжей части повышаются. В этом случае ветровой поток над крышами зданий, находящийся в режиме обтекания «по огибающей», препятствует выносу ингредиентов из уличного пространства. Как следует из экспериментов Ли и Парка [21], наиболее эффективно загрязняющие вещества выдуваются из каньонов малой глубины с одним вихрем. В более глубоких каньонах с двумя вихрями перемещение ингредиентов от источника вверх происходит за счет диффузии. По наклону кривых 1—6 на рис. 2 видно, что на улицах небольшой ширины при значениях $z < 1$ необходимая подвижность воздуха и качество атмосферного воздуха обеспечиваются путем соблюдения разрывов между зданиями на линии застройки.

Результаты исследований показывают, что гигиенические нормативы содержания в атмосферном воздухе токсичных веществ, выбрасываемых в процессе эксплуатации автомобильного транспорта, обеспечиваются в градостроительном проектировании путем регулирования аэрационного режима транспортных коммуникаций средствами планировки в пределах комфортных классов погод. В отличие от других метеорологических факторов, влияющих на формирование концентраций ОГ в воздухе городских улиц и прилегающей жилой застройки (температурный градиент, влажность воздуха и др.), скорость и направление ветра являются наиболее контролируемыми

факторами с точки зрения возможности их регулирования на разных стадиях градостроительного проектирования.

Планировочные средства формирования оптимального ветрового режима в целях снижения загазованности, а также защиты жилой застройки от холодных сильных ветров или улучшения ее проветривания в поселениях с преобладанием слабых ветров могут широко использоваться в соответствующих климатических зонах. Вместе с тем в ландшафтных зонах с выраженными сезонными колебаниями климатообразующих факторов, связанных с циркуляцией атмосферы, при выборе планировочных решений объектов транспортной инфраструктуры и жилых районов поселений необходимо выработать индивидуальный подход.

В степях, лесостепях, полупустынях и лесотундре, где по преобладающим направлениям отмечаются средние скорости ветра 5...10 м/с, а также сильные ветры со скоростью более 10 м/с, в холодный период года для жителей поселений может возникать опасность обморожения открытых участков кожи [8]. Первостепенной задачей градостроительного проектирования в этих ландшафтных зонах является защита жилых территорий от ветра с использованием ветрозащитных особенностей рельефа, застройки и озеленения.

В лесной ландшафтной подзоне в течение года, а также в степной в теплый период скорости ветра до 5 м/с не обеспечивают достаточно комфортное проветривание жилых образований. Таежную ландшафтную подзону, широколиственные леса, оазисы и влажные субтропики в летние месяцы характеризуют еще более низкие средние скорости ветра (до 3 м/с) и штилевое состояние атмосферы (0...1 м/с). Вследствие этого у жителей поселений из-за напряжения терморегуляции при перегреве в условиях высокой влажности возникают ощущения теплового дискомфорта [5]. Одновременно на магистральных улицах и в жилой застройке повышается уровень загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта. Актуальными задачами градостроительства в данных климатических областях является выбор положения трассы магистральных дорог и улиц с учетом направления преобладающих ветров и поиск приемов планировки, застройки и озеленения жилых образований и общественных пространств, стимулирующих их эффективное проветривание при максимальном сохранении и усилении исходной скорости ветра.

При наиболее распространенной в городах прямоугольной компактной планировке УДС и достаточно выраженной асимметрии розы ветров такое мероприятие, как трассирование основных транспортно-коммуникационных коридоров вдоль господствующего направления ветра, позволяющее сохранить и даже увеличить скорость воздушных потоков, реализуется примерно в 50 % случаев. Для остальных магистральных улиц это направление ветра оказывается перпендикулярным по отношению к их оси. В таких ситуациях возможности сохранения скорости набегающего воздушного потока в уличном пространстве определяются приемами свободной планировки с наветренной стороны, расположением зданий под углом к линии застройки, с отступом от красной линии, смещением их осей в ряду, чередованием этажности и изменением конфигурации в плане.

В городах с сухим жарким летом и холодной ветреной зимой (Москва, Волгоград и др.) требуется всесторонний учет природно-климатических факторов, предопределяющих строгую индивидуализацию планировочных

решений жилых образований. В проектной практике Москвы такой архитектурно-климатический анализ предусматривает защиту горожан от ветра зимой и обеспечение оптимального аэрационного режима пешеходных коммуникаций, общественных пространств и жилых территорий летом [22]. В Волгограде неблагоприятными в теплый период являются периодически повторяющиеся сочетания жары со слабыми ветрами и штилем. При высокой температуре воздуха, повышенной влажности и низкой скорости ветра юго-восточного направления в городе ощущается снижение биоклиматической комфортности территории и перегрев внутренней жилой среды в зданиях [5].

Летом в Волгограде, отличающемся выраженной линейной формой архитектурно-планировочной структуры, особое значение имеют мероприятия по сохранению аэрационного потенциала и мелиоративного влияния акватории Волги на микроклимат набережной рекреационной зоны и прилегающей опорной застройки. Потоки чистого воздуха, восходящие на прибрежную часть города через объекты озеленения, балочные комплексы и долины, элементы берегоукреплений, по лестничным сходам и другим коридорам, формируемым на склоне, проникают внутрь планировочных районов по поперечным улицам (Порт-Саида, Комсомольская, Аллея Героев, Ленина, Огарева, Баррикадная, Иркутская и др.) и через разрывы в периметральной застройке кварталов. При слабом ветре этот микроклиматический эффект поддерживается бризовой циркуляцией воздушных масс.

В зимний период в Волгограде особенно неблагоприятны сильные холодные ветры преимущественно восточного и северо-восточного направлений. В таких условиях необходимы ограничения по использованию открытых пространств в рекреационных целях, для пешеходных сообщений и производственно-бытовых процессов. Здесь применяются замкнутые и полужамкнутые жилые группы, открытые к благоприятным румбам (юг или юго-запад), для защиты детских дошкольных образовательных организаций, школ и других объектов от холодных ветров. Используется и такой прием планировки, как повышение этажности зданий в пределах жилых групп по преобладающим направлениям холодных ветров.

Многообразие планировочных решений жилых образований по предупреждению загазованности, защите от холодных сильных ветров (более 5 м/с) или сохранению исходных скоростей ветра (до 3 м/с) при недостаточно комфортном проветривании, предложенное к настоящему времени² [5, 12, 16, 22—25], находит широкое применение в градостроительной проектной практике. Вместе с тем в градостроительном проектировании следует систематизировать и анализировать приемы планировки и застройки жилых территорий, реализованные в различных природно-климатических зонах и обеспечивающие по результатам социально-гигиенического мониторинга нормативы содержания выбросов автомобильного транспорта в атмосферном воздухе в пределах комфортных классов погод. Такие планировочные решения необходимо использовать при экологическом обосновании проектов застройки жилых районов в городах вместе с новыми экспериментальными и теоретическими разработками в области экологического строительства.

² Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 56 с.

Выводы

1. В крупных и крупнейших городах максимальные разовые ПДК токсичных компонентов выбросов автомобилей в атмосферном воздухе обеспечиваются градостроительными средствами — выбором положения трассы транспортных коммуникаций и приемов планировки и застройки жилых районов с возможностью регулирования аэрационного режима в пределах комфортных классов погод, определяемых сочетаниями скорости ветра, температуры и влажности воздуха.

2. Уровень концентрации в атмосферном воздухе токсичных веществ, выбрасываемых на транспортных сетях городов, в значительной мере определяется исходной скоростью ветра и особенностями его трансформации под воздействием застройки. Полученные показатели трансформации воздушного потока по скорости при обтекании городской застройки открывают возможности регулирования аэрационного режима и снижения загазованности транспортных коммуникаций приемами планировки в широких пределах.

3. Самоочищение воздуха магистральных дорог и улиц от выбросов автомобильного транспорта на 70...90 % и более происходит при аэрационном режиме 3...5 м/с в пределах комфортных и допустимых скоростей ветра по тепловым ощущениям человека. При этом разница уровней загазованности магистральных улиц различных категорий сводится до минимума. Поэтому строительство высокотехнологичных транспортных коммуникаций, обеспечивающих при аэрационном режиме 3...5 м/с скоростные связи и вывод грузового движения за пределы урбанизированных территорий, следует считать эффективным оздоровительным мероприятием, локализирующим значительные объемы выбросов автомобильного транспорта, эксплуатируемого в городах.

4. Наиболее эффективное рассеяние выбросов автомобилей на городских улицах с плотной фронтальной застройкой обеспечивается при отношении высоты зданий H к ширине улицы B по линиям застройки не более 0,25...0,30. Это может служить основанием для назначения минимальной ширины магистральных улиц районного значения $B = 3H$ и общегородского значения $B = 4H$ по показателям качества атмосферного воздуха. При этом следует ограничивать применение многосекционных зданий повышенной этажности и дополнительных вставок между ними вдоль красных линий. Вероятность появления на улицах замкнутой циркуляции примесей, препятствующей воздухообмену при поперечном направлении ветра, может быть полностью исключена при назначении их ширины по линиям застройки $B > 6H$.

5. В ландшафтных зонах с выраженными сезонными колебаниями климатообразующих факторов необходима строгая индивидуализация планировочных решений жилых районов, общественных пространств и объектов транспортной инфраструктуры поселений, с учетом возникающих в разные периоды года задач, связанных с необходимостью мелиорации микроклимата и охраны атмосферного воздуха от загрязнения. В основе средозащитных мероприятий здесь необходима четкая дифференциация транспортных коммуникаций по условиям аэрации, с учетом розы ветров по направлению и скорости за период максимальной загрузки УДС автомобильным транспортом.

6. В городах с преобладанием в холодный период года средних скоростей ветра в пределах 5...10 м/с и более сильных ветров для защиты жилой

застройки, пешеходных коммуникаций и общественных пространств от переохлаждения следует использовать неровности рельефа, крупные массивы зеленых насаждений, средозащитные полосы озеленения, а также замкнутые или полузамкнутые группы жилых зданий.

7. В городах, характеризующихся низкими скоростями ветра и штилевыми условиями, максимальное сохранение исходной скорости ветра и снижение загазованности жилых территорий выбросами автомобилей достигается при трассировании магистральных улиц вдоль преобладающего направления ветра. Для транспортно-коммуникационных коридоров, ориентируемых продольной осью по перпендикуляру к господствующему направлению ветра, возможности сохранения аэрационного потенциала определяются застройкой их наветренной стороны зданиями башенного типа, использованием приемов свободной планировки с переменной этажностью зданий, расположением их короткими торцами к ветру или под углом к линии застройки. Кроме того, возможно использование мелиоративного влияния рельефа, зеленых массивов и акваторий на аэрационный режим и микроклимат территории жилой застройки с учетом горно-долинной и бризовой циркуляции в городах со слабыми ветрами и часто повторяющейся штилевой погодой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянд М. Е. Состояние работ и задачи в области изучения загрязнения атмосферы // Проблемы контроля и обеспечения чистоты атмосферы / М. Н. Берлянд. Л. : Гидрометеониздат, 1975. С. 3—13.
2. Балакин В. В., Сидоренко В. Ф. Трансформация воздушного потока при обтекании жилых зданий на городских улицах // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. Вып. 44(63). Ч. 2. С. 4—18.
3. Балакин В. В. Учет пространственно-временной динамики загрязнения атмосферного воздуха транспортных коммуникаций в градостроительстве // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 340—352.
4. Balakin V. V. Spatiotemporal dynamics of air pollution on main streets // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon-2020", 2021. Vol. 1079. Iss. 5. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/5/052042.
5. Серебровский Ф. Л. Аэрация населенных мест. М. : Стройиздат, 1985. 172 с.
6. Егорычев О. О., Дуничкин И. В. Вопросы прогнозирования микроклимата городской среды для оценки ветроэнергетического потенциала застройки // Вестн. МГСУ. 2013. № 6. С. 123—131.
7. Балакин В. В. Закономерности формирования концентраций отработавших газов автомобильного транспорта в каньонах городских улиц // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2008. Вып. 9(28). С. 76—82.
8. Балакин В. В. Расчет загрязнения атмосферного воздуха на застраиваемых участках городских дорог // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2010. Вып. 18(37). С. 138—143.
9. Kim Jae-Jin, Baik Jong-Jin. A numerical study thermal effects on flow and pollutant dispersion in urban street canyons // Journal of Applied Meteorology. 1999. Vol. 38. No. 9. Pp. 1249—1261.
10. Hoydysh W. G., Dabberdt W. F. Kinematics and dispersion characteristics of flows in asymmetric street canyons // Atmospheric Environment. 1988. Vol. 22. Pp. 2677—2689.
11. Uehara K., Murakami S., Oikawa S., Wakamatsu S. Wind tunnel evaluation of flow fields within streets canyons with thermal stratification // Journal Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transaction of AIJ). 1998. Vol. 510. Pp. 37—44.
12. Никитин В. С., Максимкина Н. Г., Самсонов В. Т., Плотникова Л. В. Проветривание промышленных площадок и прилегающих к ним территорий. М. : Стройиздат, 1980. 200 с.
13. Oke T. R. Street design and urban canopy layer climate // Energy and Buildings. 1988. Vol. 11. Pp. 103—113.

14. Baik Jong-Jin, Kim Jae-Jin. A numerical study flow and pollutant dispersion characteristics in urban street canyons // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. No. 11. Pp. 1576—1589.
15. Grimmond C. S. B., Oke T. R. Properties of urban areas derived from analysis of surface form // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 28. Pp. 1262—1292.
16. Пинигин М. А., Сидоренко В. Ф., Антюфеев А. В., Балакин В. В. Выбор градостроительных решений по снижению загрязнения атмосферного воздуха в жилых районах выбросами автомобильного транспорта // *Гигиена и санитария*. 2021. № 2. С. 92—98.
17. Балакин В. В., Сидоренко В. Ф. Защита пешеходных зон и жилой застройки от выбросов автомобильного транспорта средствами озеленения // *Жилищное строительство*. 2016. № 5. С. 3—8.
18. Balakin V. V., Antyufeev A. V., Sidorenko V. F. Aeration mode of main streets in high-density development // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019)*. 2019. Vol. 687. Iss. 5. DOI: 10.1088/1757-899X/687/5/055020.
19. Томсон Н. М. Аэрация городской застройки. М. : Изд-во АМН СССР, 1947. 122 с.
20. Hassan A. A., Crother J. M. Modelling of fluid flow and pollutant dispersion in a street canyon // *Environmental Monitoring and Assessment*. 1998. Vol. 52. Pp. 281—297.
21. Lee I. Y., Park H. M. Parametrization of the pollutant transport and dispersion in urban street canyons // *Atmospheric Environment*. 1996. No. 28. Pp. 2343—2349.
22. Мягков М. С. Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда // *Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2013. Вып. 32(51). С. 220—228.
23. Балакин В. В. Формирование аэрационного режима городских улиц приемами планировки жилой застройки // *Жилищное строительство*. 2015. № 10. С. 43—46.
24. Balakin V. V. Protection of residential buildings from vehicle emissions using landscaping areas of various design // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2020)*. 2020. Vol. 962. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032083.
25. Balakin V. V. Air quality upgrading in residential areas using architectural methods // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2020"*. 2021. Vol. 1079. Iss. 5. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/5/052039.

© Балакин В. В., 2022

Поступила в редакцию
в ноябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Балакин В. В. Градостроительные мероприятия по регулированию аэрационного режима и снижению загрязнения атмосферного воздуха транспортных коммуникаций // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 2(87). С. 218—232.

Об авторе:

Балакин Владимир Васильевич — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; balakin-its@yandex.ru

Vladimir V. Balakin

Volgograd State Technical University

URBAN PLANNING MEASURES FOR REGULATION AERATION REGIME AND POLLUTION REDUCTION ATMOSPHERIC AIR TRANSPORT COMMUNICATIONS

The regularities of the transformation of the air flow in speed and direction and the distribution of pollutants on the cross-section of streets with changes in their width, height and density of buildings are established. The planning conditions accompanying the formation of a stable vortex and increased atmospheric air pollution associated with the closed circulation of car emissions in street

canyons are revealed. The necessity of choosing urban planning solutions for the formation of a comfortable urban environment in various geographical areas with a characteristic annual course of climate-forming factors is substantiated.

К е y w o r d s: climate, relief, architectural and planning structure of the city, residential areas, public spaces, car emissions, buildings, landscaping, wind speed, dispersion, atmospheric air quality.

For citation:

Balakin V. V. [Urban planning measures for regulation aeration regime and pollution reduction atmospheric air transport communications]. *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], 2022, iss. 2, pp. 218—232.

About author:

Vladimir V. Balakin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; balakin-its@yandex.ru

УДК:711.553.4

И. Н. Етеревская, Д. А. Мацигор

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРА ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ АСТРАХАНИ)

Проведен анализ теоретического и практического отечественного и зарубежного опыта освоения прибрежных территорий крупных городов. Обоснована актуальность ландшафтно-экологической и культурно-исторической направленности развития и освоения данных ценных городских территорий. Рассмотрены основные принципы и методы организации общественно-пешеходных зон в структуре исторического центра города как основных элементов формирования облика города на основе природной доминанты — реки. Проведен комплексный анализ развития прибрежных территорий в историческом центре города и обобщены основные проблемы их современного состояния на примере р. Кутум в Астрахани. Предложены сценарии развития прибрежной территории на примере Красной набережной Кировского района Астрахани с учетом сохранения ценных элементов исторической застройки и реабилитации деградирующих природных компонентов рекреационной среды.

Ключевые слова: приречная территория, ландшафтно-градостроительная организация, историческая застройка, благоустройство набережной, рекреационная зона, реабилитация прибрежной территории.

На всем протяжении развития человечества рекам отводилась крайне важная роль в формировании и комплексном развитии городов. Речные природные оси являлись историческими «руслами» формирования системы древних и современных поселений. Территории, находящиеся вблизи рек, озер считались наиболее подходящими для освоения. Такое расположение городских поселений обеспечивало удобство при обороне от вражеских нападений, а также свободное сообщение с другими территориями. Многие столетия речные пути являлись основными транспортными, торговыми и межкультурными маршрутами, поэтому от состояния водной артерии во многом зависело благополучие города. Однако отношение к реке и приречным территориям на каждом историческом этапе было разным: постепенно от чисто утилитарного отношения к реке жители городов дошли до осмысления природных и эстетических ценностей реки и приречной территории. Здесь формировались самые выразительные панорамы и контрастные сочетания разных функций. Кроме того, реки являлись главными градостроительными осями композиции многих городов и поселений, основой формирования запоминающихся ландшафтно-градостроительных ансамблей. Прибрежные территории отличаются наибольшим потенциалом в создании привлекательного образа города, индивидуального визуального облика через формирование общественно-рекреационных пространств и туристических маршрутов. Видовые и визуальные характеристики таких мест создают уникальную среду и позволяют расположить акценты, формирующие благоприятный имидж города.

Активное рекреационное освоение и реабилитация нарушенных прибрежных территорий в современных условиях становятся глобальной тенденцией, очевидно, что прибрежные территории обладают значительным

природно-рекреационным потенциалом¹ [1], являются носителем исторических типов городских ландшафтов и могут рассматриваться как основа для идентификации среды города [2, 3]. Прибрежные территории являются контактной зоной между природной доминантой — рекой и урбанизированной городской застройкой, и их эффективная ландшафтная организация будет способствовать повышению устойчивости городской среды² [4—10].

В ходе развития планировочной структуры издавна освоенные береговые территории центра города оказались местом концентрации множества разнообразных функций, поэтому в современных условиях отличаются наиболее заметной деградацией. В то же время на этих территориях зачастую сосредоточена уникальная историческая застройка, представлены характерные городские ландшафты. Исходя из этого, особую актуальность приобретает разработка новых подходов и направлений реконструкции, обеспечивающих наиболее гармоничное взаимодействие исторического наследия с новыми образами в системе исторического центра города³ [11].

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что основой преобразования исторических прибрежных территорий центра становится историко-культурная направленность их развития, при этом особое внимание уделяется организации общественно-пешеходных зон на основе градостроительных и культурных особенностей участка, решению вопросов благоустройства прибрежных зон, их функциональному насыщению. Набережные естественным образом становятся местом взаимодействия горожан, площадкой для культурных событий, местом отдыха. Контакт человека с рекой в разных странах и городах носит самые разные формы и варьируется по степени урбанизированности: от бетонной набережной до естественных зеленых берегов в парковых зонах. Применяется индивидуальное решение, точно соответствующее определенному месту и поставленным задачам.

Так, в 2005 г. был представлен план развития бывшей портовой территории в Нью-Йорке в районе Дамбо на берегу Ист-Ривер. Бруклин-Бридж-парк — современная зеленая рекреационная зона, откуда можно любоваться исторической панорамой Манхэттена. Также на территории набережной учтено историческое прошлое территории. Деревянные сваи прежнего причала и столбы с «приглушенными прожекторами» переносят это место обратно в его индустриальное прошлое⁴.

¹ *Большаков А. Г.* Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории : автореф. дис. ... д-ра архитектуры : 18.00.01. Иркутск, 2003. 46 с.

Задворянская Т. И. Ландшафтно-градостроительная организация рекреационных зон в структуре прибрежных территорий крупных городов (на примере Воронежа) : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.04. СПб., 2009. 22 с.

Вязовская А. В. Аспекты преобразования и развития городских приречных территорий : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.04. М., 2012. 24 с.

Маташова М. А. Эколого-градостроительная оптимизация приречных территорий (на примере г. Хабаровска) : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 05.23.22. СПб., 2011. 25 с.

² *Литвинов Д. В.* Градоэкологические принципы развития прибрежных зон: на примере крупных городов Поволжья : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.04. СПб., 2009. 22 с.

³ *Родина Е. В.* Принципы реконструкции исторической прибрежной территории Воронежа : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.04. СПб., 1998. 21 с.

⁴ Топ-10 секретов создания Brooklyn Bridge Park. URL: <https://afisha.nyc/top-10-sekretov-sozdaniya-brooklyn-bridge-park>.

В 2011—2012 гг. был разработан проект благоустройства набережной реки Сены в Париже на основе использования культурно-исторического потенциала территории: в частности, широкая лестница, идущая к реке от музея Орсе, стала зрительным залом истории города. На набережной проводятся культурные мероприятия, а видовые площадки дают возможность обзора исторических ансамблей центра города. Кроме того, на территории предусмотрено ограничение доступа автомобилей, а вместо части проезжей дороги вдоль набережной организованы прогулочные променады и велосипедное движение⁵.

Начиная с 2018 г. в Москве ведется реконструкция Северного речного вокзала и прилегающей прибрежной территории. Основная цель — обновить причал для водного транспорта и создать уникальное городское пространство с парком и прогулочными набережными, главной доминантой которых стало здание речного вокзала — памятника архитектуры постройки 1937 г., вернувшего первоначальный исторический облик. В оформлении элементов среды активно использована речная тематика (на набережной устанавливаются сиденья в виде гальки, у водоемов — деревянные настилы, напротив здания вокзала создается уменьшенная копия канала им. Москвы — ручей, частично повторяющий форму канала, со стилизованными копиями существующих шлюзов), натуральные материалы и цвета — бежевый, серый, белый. По замыслу авторов проекта, территорию максимально сохранили такой, какой она была, восстанавливая утраченные элементы 1930-х гг.⁶.

Однако, несмотря на богатый опыт в области реабилитации прибрежных территорий центра, в крупных городах России они зачастую подвергаются стихийной новой застройке, а исторические объекты имеют значительный физический износ, ветшают и постепенно выдавливаются из активной социальной жизни города. Вследствие этого берега рек в структуре исторического центра становятся малопривлекательными для населения, не имеют четкой планировочной, функциональной и композиционной структуры, что заметно снижает качество жизни горожан и отрицательно влияет на экологическую обстановку на прибрежной территории и в городе в целом.

Аналогичная ситуация характерна и для Астрахани, что делает актуальной разработку научно обоснованного подхода к ландшафтно-градостроительной реабилитации прибрежных территорий, выработку принципов их организации, моделей развития с учетом природно-климатических и историко-культурных особенностей Астрахани. С целью определения основных направлений реабилитации прибрежного ландшафта, его активного включения в планировочную структуру центра города и разработки предложений по его преобразованию и дальнейшему развитию был проведен пофакторный анализ территорий по следующим направлениям: функциональное насыщение, планировочные особенности, пешеходная и транспортная доступность территории, экологическое состояние ландшафта, историко-архитектурная ценность застройки, ее физическое состояние и современное использование, эстетические особенности территории.

⁵ Вода в мегаполисе: проекты реконструкций городских набережных.
URL: <https://archsovet.msk.ru/article/gorod/voda-v-megapolise-proekty-rekonstrukciy-gorodskih-naberezhnyh>.

⁶ В Москве появится еще одно общественное пространство.
URL: <https://www.vedomosti.ru/realty/articles/2020/09/04/838775-moskve-poyavitsya>.

Уникальное расположение в верхней части дельты реки Волги на 11 островах Прикаспийской низменности предопределило тесную связь Астрахани с водой на всех этапах ее планировочного развития и повлияло на возникновение узнаваемого образа города — края корабелов, рыбаков, торговцев, ремесленников. Большую роль в жизни города издавна играли базары и рынки, расположенные на берегах рек. Современная Астрахань — музей под открытым небом, где экспонируется культура, основанная на сплаве западно-восточных традиций, предопределивших формирование взаимопроникающих геополей: этнокультурного, природно-хозяйственного, конфессионального, лингвистического, политического и психологического [12].

Анализируя особенности формирования планировочной структуры города, следует отметить, что изначально в 1744 г. город компактно располагается на «пятачке» освоенной суши у створа Волги и Кутума и сторонится многочисленных огромных по площади «заливов». Волжские рукава Кутум, Болда (Балда) и Царев расщепляют левобережный массив суши на три части. Следующим этапом в развитии города становится строительство в 1817 г. Варвациевского канала, соединяющего реку Царев и Кутум, одной из его задач является осушение болот в южной части города. Канал начал также использоваться как логистический коридор для транспортировки грузов и рыболовства. Сейчас границы города расширились далеко за пределы рек Болда и Царев. Город развивается не только на левом берегу Волги, но и на правом. Две части города взаимодействуют через два главных транспортных моста — Старый и Новый. Реки Царев, Кутум и Варвациевский канал используются как зеленая инфраструктура, являясь больше экологическими элементами города, чем торгово-транспортными, как прежде (рис. 1).

В качестве объекта исследования выбрана прибрежная территория реки Кутум (некогда Кутумовка), внутригородского притока Волги, долгое время бывшего северо-восточной границей поселения, важной торговой артерией, неотъемлемой частью ландшафта и центром социальной жизни. Река защищала город от внезапных набегов с северной и восточной сторон. Кутум был судоходной рекой и единственным годным водным путем к Большим Исадам. По нему суда провозили продукты.

Территория проектирования в различные этапы освоения меняла свой облик вместе с архитектурным ансамблем, который по обоим берегам ограничивает пространство набережной (рис. 2). В XVIII—XIX вв. Красную набережную активно заселяли купцы, застройка этого периода представлена множеством особняков — от роскошных до более скромных. Большинство из них неплохо сохранились и в настоящий момент 64 исторические постройки имеют статус объектов культурного наследия (рис. 3). В их число входят четыре объекта федерального значения, наиболее яркие объекты: усадьба купца Михаила Шелехова (Красная набережная, 45) — двухэтажный особняк асимметричной формы в стиле ренессанса с изящной смотровой башней и усадьба Будаговой (Красная набережная, 43), построенная на стыке XIX и XX вв., — двухэтажный дом в стиле неоклассицизма, спроектированный неизвестным автором, сейчас в здании находится медицинский центр планирования семьи⁷, остальные постройки — объекты регионального значения⁸.

⁷ URL: <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/astrakhan/placeofinterest/38840>.

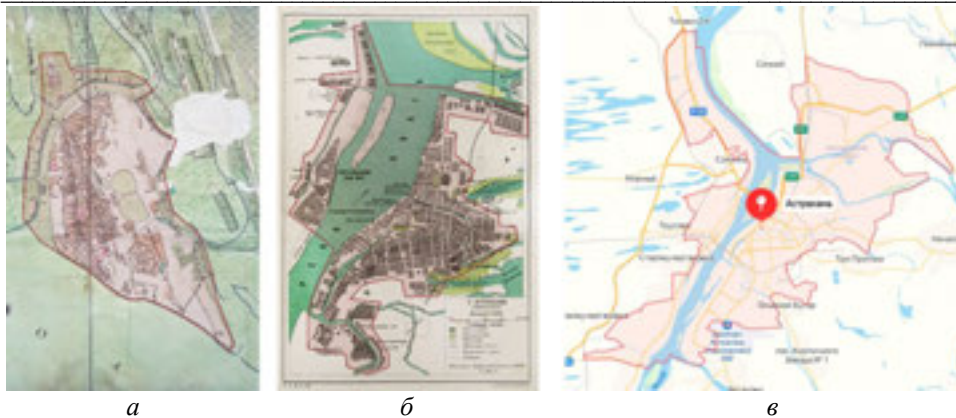


Рис. 1. Основные этапы развития планировочной структуры Астрахани вокруг реки: *а* — 1744 г.; *б* — 1925 г.; *в* — 2022 г.



Набережная р. Кутум, 1867 г.



Рынок на р. Кутум, конец XIX в.



Вид на ул. Куйбышева, 1925 г.



ул. Красная набережная, 107, 1950 г.



Пешеходный мост, 1967 г.

Рис. 2. Архивные исторические снимки фрагментов берегов реки Кутум

Здания и сооружения XVIII—XX вв. постройки сохранились до наших времен, однако многие из них имеют высокий процент износа, а некоторые находятся в ветхом состоянии. Поэтому одним из необходимых мероприятий в рамках ландшафтно-градостроительной реабилитации набережной является реставрация ценной исторической застройки на всем протяжении прибрежной территории.

Также в ходе проведенного анализа были определены основные проблемы, существенно снижающие экологическую устойчивость и социальную востребованность данной прибрежной территории (рис. 4).

⁸ URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn>.



Рис. 3. Схема расположения объектов культурного наследия в структуре прибрежной территории реки Кутум



Рис. 4. Основные проблемы реконструируемой территории

Анализ элементов застройки, кроме значительного физического износа, показал, что фасады и отдельные конструктивные элементы исторически ценной застройки, ежедневно подвергаясь негативному воздействию окружающей среды, ветшают, кирпичная кладка цокольной части и оконных перемычек частично обсыпалась и разрушилась, фасады искажены неприглядными пристройками, присутствуют слои штукатурки, скрывающие особенности исторической кирпичной кладки, отсутствует единый дизайн-код для вывесок и рекламы.

Анализ особенностей транспортно-пешеходного движения установил наличие множества стихийных автомобильных стоянок, занимающих значительные площади проезжей части дороги и озелененных территорий по обоим берегам реки. Отсутствие разделения движения транспорта и пешеходов существенно снижает безопасность и комфортность пешеходного и велосипедного передвижения вдоль реки. Кроме того, на участке не предусмотрено полноценное покрытие основных пешеходных направлений.

Анализ состояния объектов озеленения общего и ограниченного пользования показал значительную деградацию существующих элементов озеленения. На участке представлены редкие посадки деревьев и кустарников, отсутствует равномерный травяной покров на склонах набережной, сухостой и сорная растительность не выполняют ни экологических, ни эстетических функций. На внутримежевых территориях благоустройство и озеленение отсутствует вовсе.

Анализ экологического состояния территории выявил загрязнение водного бассейна. Из-за незаконного подключения к системе стоков в городские каналы стекают сточные воды жителей расположенных рядом частных домовладений, канал и прилегающая набережная засорены бытовыми отходами. Отсутствие развитого ландшафтно-экологического каркаса в виде взаимосвязанных парков, аллей и скверов затрудняет связь набережной с глубинными жилыми территориями города.

Анализ функционального использования прибрежной территории позволил установить ее недостаточно эффективное использование. Многие участки пусты и никак не задействованы в рекреационном развитии набережной.

Проведенный анализ позволил выявить ряд преимуществ рассматриваемой прибрежной территории: наличие ценной исторической застройки; высокий потенциал развития зеленых рекреационных зон; живописные виды на речные пространства; двухуровневый тип существующей набережной; расположение в непосредственном центре города и близость к основным объектам инфраструктуры.

Таким образом, несмотря на богатую историю и уникальный природный и культурно-исторический потенциал города, в настоящий момент существует ряд проблем, тормозящих активное развитие и рекреационное использование его гидрографической сети: отсутствие целостного и запоминающегося образа города, плачевное состояние исторической застройки региона, отсутствие доступности отдыха на природе, нехватка озелененных общественных пространств, неблагоприятная экологическая ситуация, выраженная в значительном загрязнении речных вод, замусоренность прилегающих территорий, низкая эффективность использования участков в центре города, обладающих рекреационным потенциалом. Это стало причинами разработки программ по реабилитации рек города. Так, в ходе Международного конкурса на разработку мастер-плана астраханской агломерации в 2021 г. консорциумом под руководством ГАУ «Институт Генплана Москвы» были сформулированы следующие направления ее развития⁹:

- создание новых общественных пространств и их функциональное разнообразие;
- формирование связного «водно-зеленого» каркаса бульваров и набережных;
- вовлечение первых этажей в экономический оборот за счет расширения и благоустройства пешеходных тротуаров;
- комплексная реконструкция исторических кварталов, включающая реставрацию объектов культурного наследия.

⁹ Открытый Международный конкурс на разработку мастер-плана Астраханской агломерации. URL: <https://astraplan.ru>.

В рамках этих направлений консорциумом ООО «Оркестра дизайн» (Санкт-Петербург, Россия) были предложены пути развития прибрежных территорий Астрахани (рис. 5):

- воссоздание пирсов и спусков к воде;
- размещение вдоль всей территории павильонов различных функций;
- многоярусное озеленение набережной;
- тактическое озеленение улиц;
- создание сети велосипедного и пешеходного туристических маршрутов.

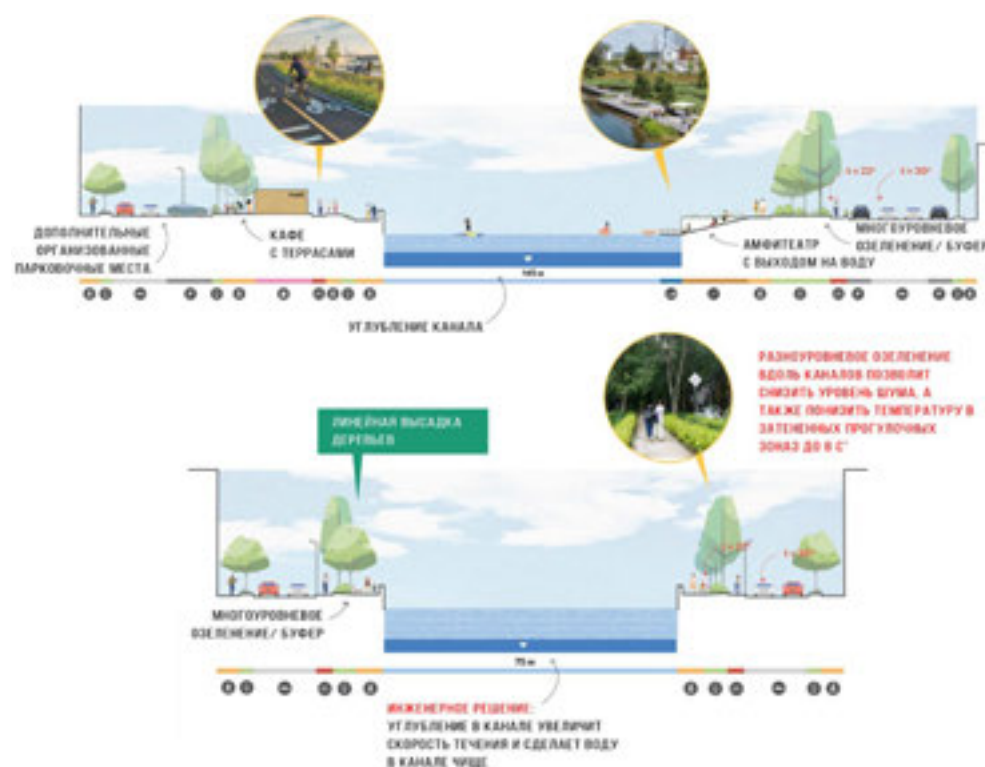


Рис. 5. Проектные предложения по организации прибрежных рекреационных пространств в Астрахани, разработанные консорциумом под руководством ООО «Оркестра дизайн» (Санкт-Петербург, Россия)

Таким образом, анализ мирового опыта, теоретических исследований и проектных разработок по преобразованию прибрежных территорий позволяет сделать вывод о том, что ландшафтно-экологический подход постепенно интегрируется с системой проектирования городских общественных пространств и предусматривает возможность включения рекреационных приречных территорий в существующую планировочную структуру города.

В связи с этим на основе комплексного системного подхода и в увязке с пространственно-планировочными, ландшафтно-экологическими функциональными, культурно-историческими особенностями прибрежной территории центра Астрахани на примере реки Кутум сформулированы следующие принципы их дальнейшего развития (рис. 6):

1. *Принцип функционального разнообразия* реализуется через интеграцию рекреационных и обслуживающих функций, их взаимосвязи внутри системы и в увязке с прилегающими городскими территориями, как основы длительной эксплуатации, создания устойчивых условий для разнообразных видов деятельности, в том числе рекреационной, с использованием природных ландшафтных особенностей территории.

2. *Принцип открытости среды* заключается в организации комфортного пешеходного и транспортного доступа на прибрежную территорию путем создания удобных планировочных связей внутри системы, а также приречной зоны с прилегающей городской застройкой.

3. *Принцип планировочной организованности* предполагает четкое структурирование планировочной структуры в увязке с существующими планировочными осями и модулем прилегающей территории, обеспечение удобных связей между одними функциональными зонами и изоляцию других, предусматривает обеспечение пространственно-планировочного единства путем создания системы открытых пространств общественного и рекреационного назначения, объединенных транспортно-пешеходными маршрутами, прямыми и косвенными смысловыми связями, что будет способствовать повышению экологической устойчивости территории и удобству функционального использования.

4. *Принцип экологичности и устойчивого развития среды* направлен на выявление и активное использование природного потенциала территории, увеличение природных компонентов, в том числе рукотворных, в структуре прибрежных территорий, предполагает выявление и сохранение в процессе проектирования ценных элементов архитектурно-ландшафтной среды, создание условий для гармоничного сосуществования старых и новых элементов ландшафта, для повышения устойчивости и распространения этого влияния вглубь города.

5. *Принцип уникальности и узнаваемости* предполагает сохранение и формирование в структуре прибрежной территории знаковых объектов, на основе опорной исторической застройки и элементов среды, природных акцентов и доминант, выявление исторических символов места с целью обеспечения нового эстетического качества среды — узнаваемости, создание туристической привлекательности и неповторимого облика среды, формирование речного фасада города.

На основе сформулированных принципов предлагаются следующие методы устойчивого развития данной городской территории:

1. Зеленая инфраструктура: поможет увеличить площадь общественных пространств, повысить качество среды, жизни, работы и образования, необходимых для удержания и привлечения молодежи.

2. Центры развития: комплексное развитие территорий, основанное на принципах смешанной застройки (mixed use), комбинирующей жилую и рабочую функции, места для отдыха и саморазвития.

3. Исторический центр: восстановление и переосмысление богатого архитектурного наследия, наполнение культурными, гастрономическими и другими функциями для повышения привлекательности города для горожан и туристов.



Рис. 6. Основные принципы ландшафтно-градостроительной реабилитации прибрежных территорий центра Астрахани

Совместное использование данных методов преобразования рассматривается как инструмент гармоничного включения прибрежных территорий и прилегающей исторической застройки в современную планировочную структуру и социальную жизнь города.

С учетом перечисленных методов развития прибрежных территорий центра Астрахани в рамках исследования предложены основные направления реабилитации рассматриваемой территории Красной набережной реки Кутум в историческом центре Астрахани на основе сценарного подхода.

Сценарный подход в проектировании общественно-рекреационных пространств предусматривает создание пространственно-временной структуры, объединяющей объекты показа, которые связаны между собой определенными связями в определенной последовательности. Эти связи формируют маршрут пространства и основных видов деятельности [13]. В основе сценарного подхода лежит определенная тема. В данном случае с учетом особенностей прибрежного ландшафта и наличия уникальной исторической застройки выбраны ландшафтно-экологическая и культурно-историческая темы.

Организация функционального сценария развития пространства предусматривает функционально-планировочное структурирование рекреационной территории, ее сочетание и взаимодействие с жилой и общественной исторической застройкой, расположенной на границе участка. На всем протяжении набережной выделяется семь ключевых точек, каждая из которых является активным центром притяжения с закрепленной основной функцией (рис. 6):

1. *Культурно-творческая зона* — предусматривает организацию площадок народных ярмарок, тематических игр, музыкальных мероприятий (этно-

рок и этно-джаз), перформансов, театральных и танцевальных представлений, музейных экскурсий с использованием исторической застройки.

2. *Историческая зона* — ориентирована на организацию реконструкторских боев, выездных лекториев музеев, мастер-классов по созданию традиционных лодок (кулас), мастер-классов по фехтованию.

3. *Научно-выставочная зона* — предусматривает проведение в исторических зданиях и на открытых площадках выездных лекториев разных факультетов Астраханского университета, научных шоу и презентаций, открытых мастер-классов по робототехнике, выставок местных художников и ремесленников.

4. *Экологическая зона* — предусматривает популяризацию экологии через лекции, экскурсии по оранжереям и самой набережной, эко-субботники и квесты.

5. *Торгово-транспортная зона* — включает открытые площадки и крытые павильоны для ярмарки местной фермерской сельхозпродукции, автостанцию, крытую парковку.

6. *Зона тихого отдыха* — объединяет системы пешеходных дорожек и общественных площадок для медитации, йоги, максимальное количество зеленых массивов для единения с природой.

7. *Событийная зона* — организуется у существующего моста Влюбленных — места для свадебных фотосессий и различных торжеств, с размещением кафе, лодочного пирса, элементов паркового оборудования.



Рис. 7. Концепция функционального зонирования проектируемой территории

Проект предусматривает насыщение набережной новыми функциями в границах формируемого общественного пространства. На границе пешеходной зоны предлагается размещение дополнительных перехватывающих парковок, чтобы горожане и туристы могли оставлять машины в одном из специально отведенных мест и прогуливались вдоль «зеленых» каналов пешком.

Сценарий взаимодействия населения с прибрежной территорией разрабатывается на основе сменности времен года для природно-климатических условий Астрахани и, исходя из этого, предусматривает деятельность на открытом воздухе или с использованием существующей застройки.

Зима короткая и комфортная — время для встреч, теплых посиделок и активностей на воздухе и в круглогодичных объектах: посещения музеев и культурных центров-павильонов, новогодних праздников, тематических ярмарок, катания на коньках, игры в хоккей, зимних спортивных забегов, Каспийской недели моды, лекций и воркшопов по устойчивой моде и экологичному дизайну.

Весна наступает раньше, чем по всей России, что формирует естественное конкурентное преимущество и дает возможность отдохнуть от зимней серости крупных городов на улицах исторического города. Предусматриваются неформальные экскурсии по архитектурным достопримечательностям Красной набережной, рыболовный фестиваль на городских набережных «Вобла Фест», спортивные марафоны, пленэры, прогулки-субботники с экологами, эко-квесты, акции по очистке Кутума.

Лето жаркое и долгое, богатое на природные явления, что создает условия для деятельности на открытом воздухе: купания в городских водоемах и специально организованных купальнях, пикников, кинопросмотров, катания на лодках и катамаранах, выставок, концертов, соревнований на воде, лекций о природе и истории реки Кутум и региона Дельты в целом.

Осень долгая и комфортная, это делает ее наиболее подходящей для масштабных культурных мероприятий: городских фестивалей, исторических реконструкций событий, театральных постановок, выездных лекториев Музея арбуза и рыболовства, кулинарных мастер-классов, маркетов от местных фермеров, участия в подготовке зеленых массивов к зиме в составе волонтеров.

Кроме этого, сценарий развития пространства включает разработку системы пешеходных маршрутов набережной, ориентированных на постоянную смену впечатлений в разное время суток, эффект усиливается благодаря использованию функциональной и декоративной подсветки поверхности земли и фасадов зданий, мультимедийных шоу и музыкального сопровождения.

Целью разработанного проектного предложения является восстановление связей человека с историей места, создание символа культуры и отражения характера и быта людей, современных и некогда здесь проживавших. Проектное предложение предполагает, что у реки город может жить своим прошлым, настоящим и будущим, а горожане могут наблюдать эти сцены как зрители. Общественное пространство рассматривается не как застывшая законченная среда, а как динамическая структура, в которой происходит комбинирование разных сцен, выразительных средств и эпох. Это усиливает идентичность места, делает его более выразительным и запоминающимся, помогает структурировать потоки посетителей.

Культурно-исторический сценарий позволит воссоздать прежний облик Астрахани в границах прибрежной территории и поведать историю города через архитектуру и элементы городской среды. Вдоль всей территории набережной предусматривается воссоздание и демонстрация объектов исторического и культурного наследия. При этом предусматривается использование объектов показа следующих типов:

- подлинные — сохранившиеся архитектурные объекты историко-культурного наследия с восстановлением первоначальной функции или с приспособлением их под новые функции туристического обслуживания;
- объекты, воссозданные по архивным материалам или археологическим раскопкам, близкие к оригиналу;
- вымышленные объекты или современные тематические объекты, демонстрирующие новшества и достижения в сфере науки и технологий.

Сценарий строится на воссоздании фасадов (или их частей) в соответствии с утраченным историческим обликом и с соблюдением габаритных размеров и материалов. При этом предлагается организация современных общественных пространств у воды, снос малоценной ветхой застройки, демонтаж инородных элементов, привнесенных в историческую застройку, а также создание единого дизайн-кода для вывесок и наружной рекламы. Также вдоль реки предусмотрено размещение инсталляций и объектов городской среды, формирующих образ города у воды: парусники, торговые лодки, стилизованные причалы. Это поможет подчеркнуть аутентичность прибрежного общественного пространства, повысить привлекательность для изучения и туристического посещения.

Пространственно-планировочный сценарий реализуется на основе исторического планировочного модуля жилых дворов, характерных для центра и ставших местным брендом Астрахани. Дворы сформированы в разное время, имеют разное функциональное назначение и хранят свой уникальный характер и атмосферу. Для сохранения материального и нематериального наследия дворов предлагается активировать их социально-культурную жизнь. Новые форматы мероприятий и сценарии развития могут поддержать это направление и раскрыть самобытность и историю дворов, зданий и людей за счет использования тематических аудиогидов, спектаклей об историях, организации временных выставок с историческими артефактами, званых обедов для жителей и гостей. Также во дворах могут располагаться рестораны, торговые точки, мини-отели для размещения туристов, культурный центр с коммерческой функцией, творческий кластер с культурной программой.

В целях сохранения, развития и создания социальных природоориентированных взаимодействий в городе предусматривается ландшафтный сценарий развития прибрежной территории на основе новых подходов к реализации современных градостроительных решений и ландшафтной организации общественных пространств, ориентированных на баланс урбанизированной и природной сред с активным использованием средств ландшафтного дизайна: применения бионических форм в планировке на основе существующего рельефа, использования приподнятой над уровнем земли на опорах сети пешеходных дорожек, платформ и павильонов, позволяющих обеспечить обзор естественных особенностей рельефа, воды, дальних и ближних панорам.

Дендросостав подобран с учетом сезонности восприятия и наибольшей декоративности (сочетание хвойных пород и лиственных с декоративным цветом листвы, выразительным цветением и формой кроны), а также режимом функционирования каждого участка набережной. Так, вдоль транзитных путей запроектированы многоярусные посадки для защиты от неблагоприятного воздействия транспортных магистралей, но при этом не закрывающие фасады объектов культурного наследия. Групповые и одиночные посадки используются для зон, где развита социальная активность и событийные мероприятия, а рощи и массивы — в зонах тихого отдыха и единения с природой. Кроме того, предусмотрено применение различных видов травянистых растений: кормовых, лекарственных, декоративных, а также водных растений (лотос, чилим, южный тростник, кувшинка), характерных для данного региона.

Таким образом, для разработки наиболее актуальных предложений по реабилитации прибрежных территорий реки Кутум в центре Астрахани необходим комплексный подход с одновременным использованием нескольких групп проектных методов исходя из конкретной градостроительной ситуации и степени сохранности исторической застройки и природного ландшафта, что позволит обеспечить:

- сохранение и активное включение объектов культурного наследия Красной набережной в социальную и культурную жизнь города;
- создание новой зеленой и многофункциональной среды за счет создания системы общественных пространств, концентрирующих точки притяжения для горожан и туристов;
- сохранение и воссоздание природных ресурсов;
- восстановление баланса урбанизированных и природных элементов в центре города;
- улучшение здоровья и психоэмоционального фона жителей города;
- повышение престижности и туристической привлекательности города и создание уникального образа главного притока Волги — реки Кутум.

Данный комплексный подход сегодня актуален для сохранения и полноценного использования природного и культурного наследия региона, которое создает отличительный природный облик и качество окружающей среды Астрахани, становится ее достоянием и конкурентным преимуществом на следующем этапе развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Етеревская И. Н., Сиренко Н. В. Ландшафтно-градостроительная организация рекреационных зон в структуре приречной территории города // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 157—166.
2. Dovey K. Becoming places: urbanism/architecture/identity/power. New York : Taylor and Francis, 2010.
3. Forman R. Urban regions: ecology and planning beyond the city. Cambridge : Cambridge University Press, 2008. 408 p.
4. Lussault M. Grand (Le) Pari(s) Consulatation Internationale sur l'avenir de le metropole parisienne // Le Moniteur Architecture AMC. Avril 2009. Hors-serie. P. 260.
5. Masbouni A., Gravelain F. Penser la ville par le paysage. Paris : Edition de La Villette, 2002. 96 p.
6. Нефедов В. А. Городской ландшафтный дизайн. СПб. : Любавич, 2012. 320 с.
7. Corner J. Terra Fluxus // The Landscape Urbanism Reader / Ed. Ch. Waldheim. 1st ed. New York : Princeton Architectural Press, 2006.

8. *Bruttomesso R.* Waterfronts: a new frontier for cities on water. Venice : International Centre for Cities on Water, 1993. 352 p.
9. *The Landscape Urbanism Reader* / Ed. C. Waldheim. New York : Princeton Architectural Press, 2006. 295 p.
10. *Boyle A., Barrilleaux C., Scheller D.* Does walkability influence housing prices? // *Social Science Quarterly*. 2014. Vol. 95. No. 3. Pp. 852—867.
11. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Антипова И. А.* Реновация заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий с помощью строительства парков // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2021. Вып. 3(84). С. 204—215.
12. *Рубцова С. С.* Градостроительная эволюция Астрахани : в 2 кн. Кн. 2. Градообразующие элементы. Ульяновск : Ульяновский дом печати, 2017. 496 с.
13. *Крашенинников А. В.* Сценарное проектирование городской среды // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. № 4(41). С. 242—256. URL: http://marhi.ru/AMIT/2017/4kvart17/18_krashennnikov/index.php/

© *Етеревская И. Н., Мацигор Д. А.*, 2022

*Поступила в редакцию
в феврале 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Етеревская И. Н., Мацигор Д. А. Особенности ландшафтно-градостроительной реабилитации прибрежных территорий центра города (на примере Астрахани) // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 2(87). С. 233—248.

Об авторах:

Етеревская Ирина Николаевна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; eterevskaya_irina@mail.ru

Мацигор Дмитрий Алексеевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; dmitrii_macigor@mail.ru

Irina N. Etereuskaya, Dmitriy A. Matsigor

Volgograd State Technical University

FEATURES OF LANDSCAPE AND URBAN PLANNING REHABILITATION OF THE CITY CENTER COASTAL TERRITORIES (BY THE EXAMPLE OF ASTRAKHAN)

An analysis of the theoretical and practical domestic and foreign experience in the development of the large cities coastal areas was carried out. The relevance of the landscape-ecological and cultural-historical orientation of the development and mastering of these valuable urban areas is justified. The main principles and methods of organizing public pedestrian zones in the city's historical center structure as the main elements of the city's image formation on the basis of the natural dominant — the river are considered. A comprehensive analysis of the coastal territories in the city's historical center development was carried out and the main problems of their current state were summarized using the example of the river Kutum in Astrakhan. A model for the coastal territory development has been produced using the example of the Krasnaya Embankment in Kirovsky District in Astrakhan, taking into account the preservation of historical development valuable elements and the rehabilitation of the recreational environment degrading natural components.

Key words: riverside territory, landscape and town planning organization, historical development, embankment improvement, recreational zone, coastal area rehabilitation.

For citation:

Etereuskaya I. N., Matsigor D. A. [Features of landscape and urban planning rehabilitation of the city center coastal territories (by the example of Astrakhan)]. *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], 2022, iss. 2, pp. 233—248.

About authors:

Irina N. Etereuskaya — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; etereuskaya_irina@mail.ru

Dmitriy A. Matsigor — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dmitrii_macigor@mail.ru

УДК 711.73

И. С. Мурадов, А. Ю. Барковская, А. В. Антюфеев

Волгоградский государственный технический университет

**ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПРОСТРАНСТВ
В СОВРЕМЕННЫХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
(НА ПРИМЕРЕ ПАРКОВОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРОСПЕКТЕ МЕТАЛЛУРГОВ
В ВОЛГОГРАДЕ)**

Целью работы является анализ социальной и культурной значимости парковой территории с учетом ее текущего состояния, а также выявление возможностей и предложений для перспективного развития улицы. Методом комплексного анализа выявляются проблемы исследуемой территории и определяются эффекты, которые могут быть достигнуты вследствие решения данных проблем.

Ключевые слова: градостроительный и социокультурный анализ территории, благоустройство парка, общественное пространство.

В настоящее время разработка проектов комплексного благоустройства открытых городских общественных пространств производится с учетом двух основополагающих принципов. Во-первых, это ориентация на пользователей, предполагающая гуманизацию городской среды с приоритетным учетом потребностей, ценностей, интересов и ожиданий всех категорий граждан [1]. Реконструируемые и вновь проектируемые общественные пространства должны поощрять социальное взаимодействие, способствовать установлению продуктивных связей внутри местных сообществ в процессе событийного и повседневного их использования. Во-вторых, это принцип целостности и функциональной насыщенности, подразумевающий сбалансированность различных видов использования, что предполагает объединение множества разнообразных функционально-планировочных зон. Акцент в данном случае переносится с неотъемлемых транзитных перемещений пешеходов на их рекреационное пребывание на улице с целью общения, досуга. Повышение привлекательности пешеходных перемещений, превращение транспортного коридора в пространство социальной жизни определяется не лозунгами и трендами, а созданием качественной городской среды.

Объект исследования. Одним из значимых общественных пространств Краснооктябрьского района Волгограда, расположенного в северной части города, является парковая территория на проспекте Металлургов. Зеленая полоса с центральной пешеходной аллеей поднимается от районообразующего учреждения культуры, ранее известного как ДК им. В. И. Ленина, ныне — как театр «Царицынская опера», и соединяет перпендикуляром главный городской проспект им. В. И. Ленина, тянущийся вдоль Волги, с ул. им. Маршала А. И. Еременко (рис. 1). По своей планировке она представляет классический бульвар, поскольку с двух сторон обрамлена транспортными артериями. Бульвар, по мнению Г. Ревзина, «это такая улица, по которой ты идешь внутри и одновременно в стороне от города» [2].

Районные бульвары в советские годы имели минимальное количество функций: защита (от шума, ветра, пыли, солнца) прилегающих зданий и

организация пешеходного движения. Благоустройство, как правило, ограничивалось скромной растительностью, без фантазийных клумб и функциональными малыми формами — лавочками, урнами, фонарями. Фонтаны, скульптурные композиции, детские площадки, игровые зоны (например, для игры в шахматы) чаще были присущи бульварам в центральной части города. Изменившийся образ жизни людей, идейные установки профессионального сообщества внесли коррективы в нормативную базу, регулирующую современные требования к благоустройству территорий общественного назначения. Так, в подготовленном КБ «Стрелка» Сводном стандарте благоустройства улиц Москвы перечислены 13 признаков хорошего бульвара: непрерывные пешеходные и двусторонние велосипедные дорожки, развитая сеть площадок отдыха и островков активности, шумозащитные насыпи вдоль бульвара, регулярное освещение, которое выполняет навигационную функцию, и др. [3].



Рис. 1. Ситуационный план рассматриваемой территории

О. А. Петрина, М. Е. Стадолин отмечают, что, учитывая снижающийся уровень благоустройства городских территорий на фоне растущего дефицита местных бюджетов, нарушения действующих стандартов содержания общественных пространств, при растущих потребностях населения в качественной городской среде проблемы ее формирования становятся одной из важнейших проблем территориального управления и выдвигаются в число государственных масштабных программ развития России [4, с. 34].

На сегодняшний день значительная часть общественных пространств Волгограда находится в частично благоустроенном или неблагоустроенном состоянии. Плохо спроектированные дорожно-коммуникационные связи, отсутствие систем непрерывного полива, недостаточная освещенность территории, непродуманное функциональное назначение парков и скверов — малая часть проблем территорий общественного пребывания горожан.

Цель исследования. Рассматриваемая нами территория расположена в жилой зоне и также имеет ряд проблем, которые были определены в результате исследования. На основе выявленных «болевых точек» дано проектное предложение, проанализированы социокультурные дивиденды предстоящей реконструкции.

Парковая территория является значимой для жителей, нуждающихся в благоприятной среде для жизнедеятельности, и для объекта культурного наследия регионального значения «Проспект Metallurgov», представляющего собой один из ярких образцов неоклассической архитектуры, так называемый сталинградский стиль. Ансамбль из 12 жилых домов и здания поликлиники является памятником архитектуры и градостроительства и заслуживает достойного ландшафтного обрамления¹. Обозначенная проблема также подтверждается вниманием со стороны администрации Волгограда, по инициативе которой были проведены слушания среди жителей прилегающих домов для учета их мнения в создании проекта благоустройства территории и с целью его включения в региональный проект «Формирование комфортной городской среды».

Историческое развитие территории. История формирования рабочего поселка и района неразрывно связана с основанием французскими акционерами в 1897 г. на окраине Царицына металлургического завода «Урал-Волга», получившего в 1922 г. название «Красный Октябрь». С 1936 г. укрупненный район приобрел современное название «Краснооктябрьский» — в честь градообразующего металлургического гиганта.

До 1942 г., пока весь район не оказался в руинах в процессе ожесточенных боев и интенсивной бомбардировки Сталинграда немецкой авиацией, проспект Metallurgov назывался ул. Центральной. Изначально улица строилась как центр рабочего поселка и являлась коллекторной улицей, собирающей весь людской поток от жилых районов и связывающей его с территорией завода «Красный Октябрь». Такая функциональная задача этой улицы обоснована формированием больших жилых поселений для обслуживания завода.

На фрагменте карты района 1942 г. можно видеть, что жилые зоны в основном состоят из индивидуальных жилых единиц и из нескольких жилых кварталов с многоквартирными домами. Также наблюдается несколько крупных ячеек с характерной для общественных территорий планировкой (рис. 2).

В 1943 г. после окончания битвы за Сталинград, как только город был освобожден от фашистской оккупации, сразу же начались работы по его восстановлению. В течение полугода были восстановлены завод «Красный Октябрь» и разрушенные трамвайные пути. В течение 10—15 лет вместо индивидуальных жилых домов были возведены новые жилые кварталы из 4—5-этажных многоквартирных домов в стиле сталинского неоклассицизма, в которых проживали рабочие и служащие предприятия. В связи с уплотнением жилого фонда в радиусе действия проспекта Metallurgov его роль в застройке района возросла.

В 1962 г. по проекту прославленного столичного архитектора Я. А. Корнфельда был построен величественный Дворец культуры металлургического завода «Красный Октябрь», что также повысило значимость пр. Metallurgov в структуре района и в системе социально-культурных объектов Сталинграда.

¹ Каталог объектов культурного наследия Волгоградской области. Проспект Metallurgov, г. Волгоград, Краснооктябрьский район, пр. Metallurgov, кварталы № 616, 618, 620. URL: <https://voopiik34.ru/object/kompleks-zastrojki-prospekta-metallurgov>.



Рис. 2. Немецкая аэрофотосъемка перед бомбардировкой Сталинграда, 1942 г.

Обращаясь к истории района, нельзя не вспомнить, что Царицын стал первым уездным городом России, в котором 1913 г. появился электрический трамвай. Но через исследуемую территорию, делая остановку в двух местах проспекта Metallургов, маршрут № 13 «Стадион „Монолит“ — ул. Александра Матросова» был проложен только в 1989 г., что значительно улучшило транспортную доступность для работников завода.

В советское время территория рассматриваемого парка, так и не получившего названия, была местом тихого отдыха и неспешных прогулок, через нее люди шли на троллейбусные и трамвайные остановки, шли работать на завод. Весь бульвар был густо усеян деревьями, кустарниками, ухожен травой, на главном транзитно-пешеходном пути были посажены клумбы с цветами. Жилая застройка в стиле сталинского ампира, обрамлявшая парковую зону, благодаря разнообразию вариантов домов, наличию у них лепного декора, колонн, эркеров, балконов различной формы, сложных многоскатных крыш и других «архитектурных излишеств», носила величественный, грандиозный характер. Первые этажи в таких домах были отданы под продуктовые и хозяйственные магазины. По сравнению со «сталинками», которые имели более выигрышный внешний вид, типовая застройка находилась дальше от проспекта, имела более скромные характеристики и упрощенную архитектуру (рис. 3). Такие архитектурно-планировочные приемы застройки территории были использованы неслучайно: проспект Metallургов должен был олицетворять силу, красоту, мощь и величие советской власти, уважение к человеку труда.



Рис. 3. Исторические фотографии проспекта Metallургов, 1960-е гг.

Формирование парковой территории. Бульвар на проспекте Metallургов появляется в период масштабного восстановления и строительства улиц Краснооктябрьского района после 1943 г. Кто занимался реконструкцией самого проспекта неизвестно, но разработку генерального плана обновленного города вела мастерская главного партийного архитектора того времени К. С. Алабяна. Привлечение столь крупных мастеров было связано с идеологическим значением Сталинграда, носящего до 1961 г. имя вождя народов СССР.

Гармоническое единство пространственной композиции зданий и сооружений, произведений монументальной скульптуры, а также наличие садово-парковой территории позволяет нам уверенно назвать исследуемую территорию полноценным ансамблем, который сложился в 1950-е гг. в границах от проспекта им. Ленина до ул. П. Гончарова (рис. 4). Парковая территория была реализована как полоса зеленых насаждений посреди улицы, предназначенная для прогулок, для пешеходного движения, кратковременного отдыха. Также бульвар обеспечивал шумозащиту и микроклиматический комфорт.

Композиционным центром парка в 1975 г. становится памятник Михаилу Паникахе — Герою Советского Союза, возведенный на пересечении проспекта Metallургов и улицы Тарашанцев (см. рис. 4). Именно в этом месте морской пехотинец ценой собственной жизни ликвидировал фашистский танк и остановил наступление немцев. Памятник представляет собой выразительную скульптуру воина в момент броска (рис. 5).

При оценке необходимо учитывать современные требования к парковым территориям и городской общественной среде. Это в первую очередь экологические, экономические и социальные составляющие, формирующие систему устойчивого развития территории [5].



Рис. 4. Фрагмент снимка Волгограда, 1965 г.



Рис. 5. Памятник Михаилу Паникахе, авторы Р. Харитонов, Ю. Белоусов

Волгоградский архитектор профессор А. В. Антюфеев разделяет городское общество, формирующее среду городских элементов, на две группы, которые можно условно назвать «бизнес-сообщество» и «гражданское сообщество». Автор указывает на то, что в современных реалиях интересы этих групп равносильно противоположны [6, с. 219]. Если бизнес-сообщество в приоритет ставит получение прибыли путем интенсивного использования ресурсов территории с минимальными затратами, то гражданское сообщество, в свою очередь, претендует на получение комфортной и безопасной среды жизнедеятельности.

Анализ эффективности функционирования исследуемой территории показал, что сложившаяся ситуация является критичной. Необходимо проведение мероприятий по повышению привлекательности и качества по показателям визуального комфорта, безбарьерной среды, расположению мест отдыха, экономической выгоды. Если говорить об организации общественного пространства, то можно выделить дефицит функциональной наполненности: недостаток мест для отдыха, зоны тихого отдыха из-за отсутствия кустарников вовсе не являются тихими, уютными; отсутствует выделенная зона для выгула собак; нет мест для активного времяпрепровождения (площадки воркаута, велодорожки и т. п.), что делает территорию непривлекательной для молодого населения [7]. Следует переосмыслить расположение зон активного отдыха, зон для отдыха пожилых людей и детей.

Еще одним важным аспектом является низкое качество благоустройства и содержания территории парка [8]. Отметим большой процент открытого грунта и неухоженность газонных покрытий; старовозрастные деревья, нехватка зеленых насаждений (новых деревьев взамен утраченных, кустарников, цветников); в целом изношенное состояние малых архитектурных форм и тротуарного покрытия, что приводит к возникновению периодических луж, ям; плохое освещение, полное отсутствие декоративного освещения. Постоянное взаимодействие с такими объектами способно провоцировать обострение негативных психологических состояний. Жизненное пространство перестает казаться безопасным, и горожанин перестает испытывать эмоциональную привязанность к месту, нарушается территориальная идентичность [9, с. 46].

Анализ транспортно-пешеходных связей показал, что на момент исследования система транспортно-пешеходных связей состоит из многочисленных фрагментов различного качества и уровня интеграции в общую пешеходную сеть и систему общественного транспорта. Присутствует неразвитая система пешеходных связей между четными и нечетными сторонами проспекта и нерациональное расположение остановок общественного транспорта, что приводит к возникновению стихийной дорожно-тропиночной сети²; ограниченная доступность пространства для пешеходов, особенно маломобильных; проблемы транспортной системы — автомобильные пробки и несанкционированные парковки автотранспорта. Учитывая высокий уровень аварийности с участием пешеходов на пешеходных переходах городских дорог, очень важно принимать во внимание все вышеперечисленное при создании пространства для человека [10, 11].

Один из важных вопросов, которому стоит уделить внимание, является безымянность территории. По своей природе такие территории на подсознательном уровне отталкивают от себя. Исторический опыт показывает, что простым названием можно увеличить привлекательность территории [12]. По опросам местных жителей было выяснено, что они ориентируются по названиям продуктовых магазинов или объектам общепита.

Решение вышеперечисленных проблем несомненно повысит экономическую эффективность территории, способствуя развитию малого и среднего

² Exploring the impacts of street layout on the frequency of pedestrian crashes: a micro-level study. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022437522000093>.

бизнеса, повышению конкурентоспособности территории, привлечению прогрессивного населения за счет повышения качества социальной составляющей — создания привлекательной аттрактивной среды и условий для безопасной «устойчивой мобильности» для всех категорий граждан [13]. Не менее важно решить проблему с освещением: увеличить интенсивность уличного освещения, отдать предпочтение освещению с высокими декоративными достоинствами, поскольку ему отводится главная роль в организации вечернего ландшафта.

Мировой опыт показывает, что развитие пешеходных зон может существенно способствовать созданию безопасной и комфортной городской среды, гуманизировать ее, поощрять позитивную деятельность жителей, снижать экологический след города, восстанавливать природный ландшафт и способствовать устойчивому развитию городов [14].

Территория парка не только выполняет функцию рекреации и досуга, но и является частью связующего каркаса социальной инфраструктуры Краснооктябрьского района. Это означает, что через территорию парка проходит значительное количество жителей, чтобы закрыть свои базовые потребности [15]. Можно выделить следующие объекты инфраструктуры в десятиминутной пешей доступности от исследуемой территории:

- общественный транспорт районного и городского уровня (три остановочных точки троллейбусов, автобусов, трамваев);
- образование (пять детских садов, три школы, ГБПОУ «Волгоградский экономико-технический колледж», библиотеки № 6 и № 32);
- здравоохранение (поликлиника № 2, детская поликлиника № 1, частные медицинские учреждения и др.);
- объекты рекреации и культуры (парк 70-летия Победы, детские и спортивные площадки, Царицынская опера и др.);
- объекты бытового обслуживания (около десяти продуктовых магазинов, более десяти объектов общепита и др.).

Результаты исследования показывают, что существует большая неоднородность в качестве и доступности данной инфраструктуры [16].

Студенты ИАИС ВолГТУ разработали концепцию проекта реконструкции и благоустройства проспекта Metallургов, которая на данный момент утверждена³. В проекте решаются проблемы, связанные с недостатком качественных ландшафтных и рекреационных зон; неразвитой системой пешеходных связей; безопасностью и доступностью пешеходной среды для всех жителей и др.

Авторы проекта предлагают разместить вдоль аллеи зоны для активного и тихого отдыха горожан, выделено пространство для детских игр. Добавлены отдельные зоны для выгула собак, и это едва ли не единственный в Волгограде проект благоустройства, в котором предусмотрены такие территории. Предлагаются также зоны для работы заведений общественного питания. Разрабатывается предложение по оптимизации остановок общественного транспорта, а сами зоны остановки расширены. Важным является решение

³ В Волгограде готова концепция проекта реконструкции проспекта Metallургов. URL: <https://gorvesti.ru/blagoustr/v-volgograd-gotova-kontseptsiya-proekta-rekonstruktsii-prospekta-metallurgov-109524.html>.

расширения современных тротуаров вдоль проспекта и обустройство подходов к социальным учреждениям — к поликлинике № 2, об этом особенно просили жители старшего возраста, школе искусств (рис. 6 и 7). Есть идеи включения в пространство проспекта скульптурных композиций и стилизованных объектов, связанных с профессией металлурга.

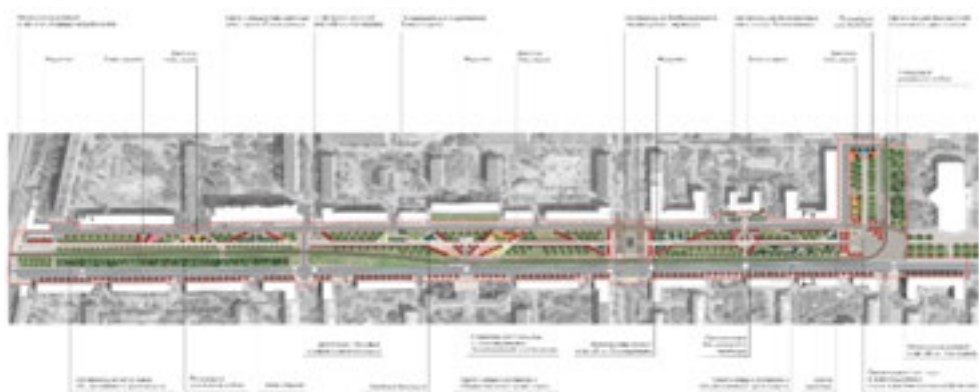


Рис. 6. Концептуальное предложение реконструкции проспекта Металлургов от студентов ИАиС ВолгГТУ



Рис. 7. Визуализации реконструкции проспекта Металлургов, выполненные студентами ИАиС ВолгГТУ

Заключение. Солидаризируясь с С. В. Ситниковой, которая на основании многочисленных социологических исследований выявляет социальную ценность современных проектов благоустройства городской среды [17], среди ожидаемых социальных эффектов в предложенной концепции отметим:

- существенное пополнение рекреационной инфраструктуры среды района;
- повышение активности использования озелененных территорий бульваров и улучшение их связанности с жилой застройкой;
- повышение уровня дорожной безопасности, в особенности для пешеходов;
- улучшение качества мест отдыха, а следовательно, повышение комфортности живущих в районе горожан;
- организация велодорожек, зон активности для молодежи, стимулирование дальнейшего развития стационарных и нестационарных предприятий торгово-бытового обслуживания, что приведет к снижению миграционных потоков молодых специалистов в более привлекательные с инфраструктурной точки зрения районы;
- создание новых рабочих мест непосредственно в парке, в управляющих компаниях, обеспечивающих эксплуатацию и инфраструктуру, что является прямым вкладом в экономику района.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барковская А. Ю., Галенко М. В., Воробьева Н. В., Душко О. В. Гуманизация городских общественных пространств (на примере Площади Павших Борцов в Волгограде) // Социология города. 2019. № 3. С. 56—69.
2. Ревзин Г. Как устроен город. 36 эссе по философии урбанистики. М.: Strelka Press, 2021. 264 с.
3. Верецагина Е. Как появились бульвары и какими они должны быть. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/kak-poyavilis-bulvary-i-kakimi-oni-dolzny-byt?ysclid=kzffr9iei3>.
4. Петрина О. А., Стадолин М. Е. Комфортная городская среда: тенденции и проблемы организации // Вестн. ГУУ. 2018. № 6. С. 34—38.
5. Гейл Я. Города для людей / Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.
6. Антюфеев А. В. Критерии оценки эффективности территориально-градостроительной политики на муниципальном уровне // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 1. Города России. Проблемы проектирования и реализации. С. 218—223.
7. Ole B. J., Martin M., Löchtefeld M. Pedestrians as floating life. On the reinvention of the pedestrian city // Emotion, Space and Society. 2021. No. 41. Pp. 1—7.
8. Enssle F., Kabisch N. Urban green spaces for the social interaction, health and well-being of older people — an integrated view of urban ecosystem services and socio-environmental justice // Environmental Science & Policy. 2020. No. 109. Pp. 36—44.
9. Барковская А. Ю., Янин К. Д. Влияние архитектурного пространства на качество жизни горожан // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2016. № 11-2(73). С. 45—47.
10. Arellana J., Fernández S., Figueroa M., Cantillo V. Analyzing pedestrian behavior when crossing urban roads by combining RP and SP data // Transportation Research. Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 2022. No. 85. Pp. 259—275.
11. Ahmed N. O. Towards an approach to humanize the street environment: reconciling pedestrian-vehicle relationship // International Journal of Architecture and Urban Studies. 2017. No. 2. Pp. 29—41.
12. Ujang N., Kozlowski M., Maulan S. Linking place attachment and social interaction: towards meaningful public places // Journal of Place Management and Development. 2018. No. 11. Pp. 115—129.

13. Yassin H. H. Livable city: an approach to pedestrianization through tactical urbanism // Alexandria Engineering Journal. 2019. No. 58. Pp. 251—259.
14. Вагнер Е. А. Формирование архитектурной среды пешеходных пространств в контексте сложившейся городской застройки // Интернет-журн. «Наукоедение». 2016. Т. 8. № 1(32).
15. Катеринин К. В. Оптимизация фаз светофорного регулирования на перекрестке при наличии бульварной зоны, разделяющей встречные потоки // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 220—234.
16. Сасова Е. А., Птичникова Г. А. Особенности проектирования современных бульваров в городах Нижнего Поволжья // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 267—278.
17. Ситникова С. В. Социальная ценность современных проектов благоустройства городской среды // Изв. Сарат. ун-та. Новая серия. Сер. : Социология. Политология. 2015. Т. 15. № 2. С. 13—15.

© Мурадов И. С., Барковская А. Ю., Антюфеев А. В., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Мурадов И. С., Барковская А. Ю., Антюфеев А. В. Проблемы формирования общественных пешеходных пространств в современных градостроительных условиях (на примере парковой территории на проспекте Metallurgov в Волгограде) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 249—260.

Об авторах:

Мурадов Илдар Сердарович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; IM.architector@yandex.ru

Барковская Анна Юрьевна — канд. филос. наук, доц. каф. философии, социологии и психологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; anna_bark@mail.ru

Антюфеев Алексей Владимирович — канд. архитектуры, проф., зав. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-4895-0094, Scopus ID: 57200195262; antyufeev_a@mail.ru

Ildar S. Muradov, Anna Yu. Barkovskaya, Alexey V. Antyufeev

Volgograd State Technical University

SOCIO-CULTURAL ASPECTS OF THE RECONSTRUCTION OF PUBLIC PEDESTRIAN SPACE (ON THE EXAMPLE OF A PARK AREA ON METALLURGOV AVENUE, VOLGOGRAD)

The purpose of the work is to analyze the social and cultural significance of the existing state of the park and identify opportunities and proposals for the future development of the street. By the method of complex analysis, the problems of the studied territory are identified and the resulting effects are determined as a result of solving problems.

Key words: urban planning and socio-cultural analysis of the territory, landscaping of the park, public space.

For citation:

Muradov I. S., Barkovskaya A. Yu., Antyufeev A. V. [Socio-cultural aspects of the reconstruction of public pedestrian space (on the example of a park area on Metallurgov avenue, 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], 2022, iss. 2, pp. 249—260.

About authors:

Ildar S. Muradov — Master's degree student, Volgograd State Technical University (VSTU).
1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; IM.architector@yandex.ru

Anna Yu. Barkovskaya — Candidate of Philosophy, Volgograd State Technical University (VSTU).
1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; anna_bark@mail.ru

Alexey V. Antyufeev — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4895-0094, Scopus ID: 57200195262; antyufeev_a@mail.ru

УДК 711.4-112

В. В. Прокопенко, И. И. Барбаров

Волгоградский государственный технический университет

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЫ С СИСТЕМОЙ ОЗЕЛЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА

Исследование посвящено оценке взаимосвязи системы озелененной территории и зеленой зоны города через формирование природных коридоров в виде овражно-балочной системы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: городская среда, система озелененных территорий, зеленая зона, овражно-балочная система.

Город — это элемент искусственной среды обитания, материализованный продукт многогранной человеческой деятельности (производственной и социокультурной) в ее объективном историческом развитии, в конкретном проявлении ее социально-экономических, региональных и природных особенностей [1]. Градостроительство — непрерывный процесс создания города, связывающий все времена. Целью градостроительной деятельности является развитие и формирование комфортной городской среды, которая должна быть функциональна, безопасна и разнообразна для городского жителя, способна ограничивать человека от влияния антропогенного воздействия и обеспечивать потребности в рекреации.

Качество городской среды зависит от структурно-функциональной организации и развития градостроительной системы, которая представляет собой совокупность структурных компонентов — каркаса и ткани [2, 3]. Каркас градостроительной системы представляет собой сложную пространственную структуру, которая формирует главные транспортные магистрали и коммуникационные узлы. Каркас, в свою очередь, может быть подчинен природным условиям или полностью изменять особенности и идентичность территории, что приводит к нарушению естественного ландшафта территории и, как следствие, изменению системно-энергетических связей. Бесконфликтное формирование градостроительной системы подразумевает гибкую адаптацию каркаса к природным и антропогенным условиям путем технологических и градостроительных средств [4, 5]. К градостроительным средствам относят создание природного, экологического или эколого-градостроительного каркасов. Каждый каркас структурно планируется на мезо- и макроуровнях. Каркас градостроительной системы формирует систему озелененных территорий, которая представляет собой взаимоувязанное, равномерное размещение городских озелененных территорий.

Система озелененных территорий определяется генеральным планом города и зависит от архитектурно-планировочной организации, природных, климатических и антропогенных условий. Согласно СП 42.13330, в городских поселениях необходимо предусматривать непрерывную систему озелененных территорий общего пользования и других открытых пространств в увязке с природным каркасом. Его основными структурными элементами являются особо охраняемые природные территории (согласно СП 42.13330.2016). Систематизация формирования

озелененных территорий зависит от размещения в структуре города и может быть внутри городской черты, а также за его пределами [6]. Систему озелененных территорий города формируют по функциональному назначению, а именно (согласно ГОСТ 28329-89):

- озелененная территория общего пользования, предназначенная для удовлетворения потребностей граждан в различных формах рекреации (к озелененной территории общего пользования относятся лесопарки, парки, сады, скверы, бульвары, городские леса);
- озелененная территория ограниченного пользования, предназначенная для обеспечения потребностей граждан в рекреации на территориях ограниченного пользования (озелененная территория лечебных, детских учебных и научных учреждений, промышленных предприятий, спортивных комплексов, жилых кварталов);
- озелененная территория специального назначения, обеспечивающая санитарно-гигиенические и бытовые функции (озелененная территория санитарно-защитных, водоохранных, защитно-мелиоративных, противопожарных зон, кладбищ, насаждения вдоль автомобильных и железных дорог, ботанические, зоологические и плодовые сады, питомники, цветочно-оранжерейные хозяйства).

Система озелененных территорий представляет собой функционально-пространственную структуру, обеспечивающую рекреационные, эстетические и санитарно-гигиенические требования [7].

Формирование системы озелененной территории города должно осуществляться во взаимосвязи с зеленой зоной города, которая представляет собой территорию за пределами городской черты, занятую лесами, лесопарками и другими озелененными территориями, выполняющую следующие функции (согласно ГОСТ 28329-89):

- средоформирующие;
- санитарно-гигиенические;
- рекреационные;
- хозяйственные.

По целевому назначению зеленые зоны городов должны подразделяться на две части: лесопарковую и лесохозяйственную. Формирование среды для зеленой зоны является особой проблемой в лесостепных и степных зонах.

Лесопарковая часть зеленой зоны — участки земель, расположенные вблизи железных и шоссейных дорог, рек, водных бассейнов и являющиеся местом отдыха населения, а также лесные площади, которые по своим эстетическим свойствам могут стать активно посещаемыми населением после проведения работ по улучшению существующих или устройству новых подъездных путей и пешеходных троп.

Лесохозяйственная часть зеленой зоны — участки земель с лесными массивами, удаленные от населенных пунктов, не имеющие развитой транспортной сети, слабо посещаемые населением. Лесохозяйственная часть зеленой зоны выполняет санитарно-гигиенические и защитные функции, которые следует сочетать с соответствующей организацией лесопользования [8].

Зеленой зоной Волгограда, относящейся к лесохозяйственной части, является зеленое кольцо вдоль города (рис. 1), которое находится вблизи рабо-

чего поселка Городище в Городищенском районе Волгоградской области и представляет собой особую экологическую систему, основные функции которой:

- сбережение животных;
- защита города от суховеев;
- улучшение микроклимата города¹.



Рис. 1. Зеленое кольцо Волгограда

Зеленое кольцо Волгограда является частью системы лесополос «Камышин — Сталинград» (рис. 2), созданных в 1940—1950-х гг., и представляла лесополосу протяженностью 250 км и площадью лесных культур 4761 га.

Планировочная система лесополос представляла собой три ленты шириной по 60 м, с расстоянием между ними в 300 м.

¹ Постановление администрации Волгоградской области от 28.12.2020 г. № 844-п.



Рис. 2. Историческая схема лесополос «Камышин — Сталинград», созданных в 1940—1950-х гг.

Основные цели искусственно созданного лесного массива заключались в следующем:

- сохранение в естественном состоянии природного комплекса в границах особо ценной территории;
- охрана животных и растительных сообществ, в том числе растений, животных и других организмов, относящихся к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Волгоградской области, а также среды их произрастания и обитания;
- использование объекта в научно-исследовательских, эколого-просветительских и эколого-туристических целях;
- регулирование рекреации.

Современное состояние лесного массива следует признать неблагоприятным. Антропогенное воздействие хозяйственной деятельности выражено промышленным и транспортным загрязнением, климатической особенностью территории, неорганизованным отдыхом населения, что приводит к деграда-

ции озелененных пространств. Зеленые насаждения зеленой зоны Волгограда постепенно теряют устойчивость к факторам внешнего воздействия, поражаются вредителями и болезнями [9].

Особую ценность представляет часть зеленого кольца, которая располагается в 4 км от поселка Городище по направлению к поселку Гумрак и имеет площадь $(2\,180\,000 \pm 517) \text{ м}^2$ (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент зеленого кольца в 4 км от поселка Городище по направлению к поселку Гумрак

Современное функциональное соответствие зеленой зоны без взаимосвязи с городской озелененной территорией невозможно. Особенности Волгоградского ландшафта — это наличие поперечно-проходящих оврагов и балок на протяжении всего города, которые и должны рассматриваться как пространственно-планировочные связи с зеленой зоной.

Зеленая зона города должна стать составляющей частью эколого-градостроительного каркаса Волгограда, главные оси которого должны быть логическим продолжением природного ландшафта города (рис. 4).

Природный ландшафт — ландшафт, состоящий из взаимодействующих природных компонентов и формирующийся или сформировавшийся под влиянием природных процессов².

Анализ городского ландшафта Волгограда позволил выявить основные поперечные связи города с зеленой зоной (табл.).

Анализ основных поперечных связей позволил выявить, что овраги и балки играют ключевую роль в формировании границ районов и планировочной структуры города.

Современное нерациональное использование овражно-балочной системы и отсутствие надлежащей оценки ее потенциала для микроклимата города негативно сказываются на экологической обстановке в городе [11—14].

² ГОСТ 17.8.1.01-86. Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения. М., 2002.



Рис. 4. Основные поперечные связи города с зеленой зоной

Основные поперечные связи города с зеленой зоной

Район	Наименование овражно-балочной системы	Характеристика овражно-балочной системы
Тракторозаводский	Река Сухая Мечетка, река Мокрая Мечетка, река Орловка	Река Сухая Мечетка — длина 14 км, площадь водосбора 64 км ² . Долина пересечена сетью оврагов; пойма шириной 20...60 м, местами заболочена, в долине расположены садовые участки, в верховьях реки имеются пруды
Краснооктябрьский	Река Мокрая Мечетка, балка Вишневая, балка Зеленая	Река Мокрая Мечетка — длина 19 км, площадь водосбора 182 км ² , в реку впадают крупные балки — Вишневая, Орловка и более мелкие — Казенная, Коренная. Долина пересечена сетью оврагов; пойма частично заболочена, заросла камышом. Ширина русла 4...8 м, максимальная глубина 0,2...0,6 м; скорость течения до 0,3 м/с; расход воды в межень 0,15...0,20 м ³ /с. На реке и балках построены пруды. Нижняя часть реки пересечена двумя крупными транспортными дамбами, что нарушило естественный режим и связь с половодьем Волги
Дзержинский	Овраг Долгий, река Мокрая Мечетка, овраг Проломный, балка Дубовая, балка Демидова, балка Зеленая, река Царица	Овраг Долгий — частично зарыт, его длина 2628 м, площадь 113,8 га
Центральный	Овраг Долгий, река Царица	Река Царица — длина 19,8 км, площадь водосбора 125 км ² . В реку впа-

Район	Наименование овражно-балочной системы	Характеристика овражно-балочной системы
		дают балки Куренчикова, Таловая, Дубовка. Долина пересечена овражной сетью, низовье реки на участке 2,4 км заключено в коллектор, расход реки незначительный и в период межени не превышает 0,020 м ³ /с. В верхней части на реке и балках построены пруды. Ниже пересечения реки улицей Землячки расположены садоводческие участки
Ворошиловский	Река Царица, река Ельшанка	Река Ельшанка берет исток в километре на северо-запад от микрорайона Верхняя Ельшанка, за дачным поселком у полотна Приволжской железной дороги на перегоне между станциями Садовая и Максима Горького. Длина реки 5,2 км. Площадь водосборного бассейна 20,4 км ²
Советский	Овраг Дедушевский, балка Шаранова, ручей Купоросный, балка Пахотина, река Ельшанка, балка Куренчикова, река Царица, ерик Песчаный, балка Песочная, Григорова балка, балка Песочная, балка Хохлатская, балка Таловая, балка Западная, балка Мокрая, балка Елхи	Ручей Купоросный имеет длину 6000 м, площадь с ОБС — 122,7 га
Кировский	Григорова балка, балка Селитряная, балка Виноградная, балка Прудовая, река Отрада, балка Прудовая, балка Сухая, балка Селитряная, овраг Капустный, балка Кучерда	Река Отрада — длина 4,5 км, площадь водосбора 48 км ² , в реку впадают балки Прудовая, Сухая, Селитряная. Большая часть реки протекает по селитебной территории. Долина реки пересечена овражной сетью. В верхней части на реке и балках построены пруды
Красноармейский	Балка Бирючья, балка Чапурниковская, балка Чапурина	Чапурниковская балка — балка на границе городского округа Волгоград и Светлоярского района Волгоградской области. Балка прорезает склон Ергенинской возвышенности. Устье выходит на Сарпинскую низменность. Площадь водосбора составляет 15,7 км ² [10]

Авторами предлагается использование овражно-балочной системы как основы эколого-градостроительного каркаса в городе. Выстроенная взаимосвязь природного ландшафта Волгограда с зеленой зоной благоприятно скажется на формировании городского каркаса в целом, что позволит увязать существующую овражно-балочную систему с лесохозяйственной частью зеленой зоны, а именно с системой лесополос «Камышин — Сталинград».

Предлагаемая концепция позволит сформировать связь горожанина с природой и создать благоприятную среду для пеших и велопрогулок, общения в уединенном месте, знакомства с природой. Все это требует взаимосвязи

зеленой зоны с системой озелененной территории через природный ландшафт города; рассматриваемая взаимосвязь позволит сформировать целостный природный каркас для Волгограда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ахмедова Е. А., Шабанов В. А.* Городская среда: проблемы реконструкции. Куйбышев : Кн. изд-во, 1989. 112 с.
2. *Rastyapina O. A., Prokopenko V. V., Ganzha O. A.* Urbanized environment quality assessment methodology // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988(4).
3. *Jamali F. S., Khaledi S., Razavian M. T.* Priority areas for developing green infrastructure in semi-arid cities: a case study of Tehran // Environment and Urbanization ASIA. 2021. Vol. 12. No. 1. Pp. 118—135.
4. *Avdeeva E., Ivanov D., Markelova K.* Monitoring of objects urban gardening. Information system “Quality Management of Urban Sites Greening” // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988(4).
5. *Engelseth P.* Developing networked landscaping services // International Journal of Value Chain Management. 2020. Vol. 11. No. 2. Pp. 97—110.
6. *Haaland C., Van den Bosch C. K.* Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: a review // Urban Forestry and Urban Greening. 2015. Vol. 14. No. 4. Pp. 760—771.
7. *Kruzhilin S. N., Baranova T. Y., Dubovoy D. A., Fathetdinova M. V.* Features of growth and design of protective forests plantings along highways of the South of Russia // Ecological Engineering and Environmental Technology. 2022. Vol. 23. No. 1.
8. *Базилевич А. М.* Основные функции озелененных территорий муниципального образования // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 20 дек. 2018 г. Красноярск : Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева, 2019. С. 151—154.
9. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Ландшафтно-экологические особенности формирования комфортной среды умного города (на примере исторического строительства зеленого кольца Сталинграда — Волгограда) // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 49(68). С. 153—166.
10. *Брылев В. А., Самусь Н. А., Славгородская Е. Н.* Родники и реки Волгоградской области. Волгоград : Михаил, 2007.
11. Landscape irrigation and water conservation in urban areas: an analysis of information-based strategies / C. Yue, M. Cui, X. Kong, E. Watkins, M. Barnes // Hort Technology. 2022. Vol. 32. No. 2. Pp. 213—225.
12. Applied Botany to Landscape Architecture as a discipline: an experience in the Architecture and Urbanism undergraduate course at Federal University of Pernambuco / T. S. Costa, E. Carvalho, W. B. Feitosa Júnior, R. N. C. Ferreira, J. M. da Silva // Revista Brasileira de Geografia Física. 2022. Vol. 15. No. 1. Pp. 221—233.
13. *Kabisch N., Haase D.* Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany // Landscape and Urban Planning. 2014. Vol. 122. Pp. 129—139.
14. *Livesley S. J., McPherson G. M., Calfapietra C.* The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale // Journal of Environmental Quality. 2016. Vol. 45. No. 1. Pp. 119—124.

© Прокопенко В. В., Барбаров И. И., 2022

Поступила в редакцию
в марте 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В., Барбаров И. И. Градостроительные особенности взаимосвязи зеленой зоны с системой озелененных территорий города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 261—269.

Об авторах:

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; v.v.p_24@mail.ru

Барбаров Иван Иванович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; barbarovov_ivan@mail.ru

Vyacheslav V. Prokopenko, Ivan I. Barbarov

Volgograd State Technical University

URBAN PLANNING FEATURES OF THE RELATIONSHIP OF THE GREEN ZONE WITH THE SYSTEM OF GREENED AREAS OF THE CITY

The study is devoted to assessing the relationship between the system of green areas and the green zone of the city through the formation of natural corridors in the form of a ravine-beam system.

Key words: urban environment, system of green areas, green zone, ravine-beam system.

For citation:

Prokopenko V. V., Barbarov I. I. [Urban planning features of the relationship of the green zone with the system of greened areas of the 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], 2022, iss. 2, pp. 261—269.

About authors:

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.v.p_24@mail.ru

Ivan I. Barbarov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; barbarovov_ivan@mail.ru

УДК 711.4-112

В. В. Прокопенко, О. А. Растяпина, И. Н. Плешаков

Волгоградский государственный технический университет

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОСЕЛЕНИЯ, ИЛИ ИДЕАЛЬНЫЙ ГОРОД

В статье рассмотрены теоретические аспекты развития концепции идеального города. Дано понятие идеального города в историческом разрезе, по мере развития теории и в современном восприятии человека, с точки зрения восприятия градостроительной среды. На основе результатов проведенного теоретического анализа авторами определена необходимость формирования городских агломераций с учетом структурных связей между населенными пунктами в пределах агломерации; возможно улучшение экологической ситуации и формирование промышленного потенциала.

Ключевые слова: идеальный город, идеальная планировочная структура, трансформация градостроительного пространства, городские агломерации.

Сегодня в процессе урбанизации города насыщаются различными функциями. Причем понятие идеального города чаще идентифицируется с понятием умного города, т. е. города, в котором внедряются информационные технологии, создающие безопасные и благоприятные условия жизнедеятельности [1—4]. В последние годы появился интерес к концепции идеального города, что связано с идеями устойчивого развития. «Идеальные города» Европы XV—XVIII вв. сохранились фактически полностью, без каких-либо изменений своей планировочной структуры, формы плана и размеров: они оказались устойчивыми к любым переменам XVIII—XX вв. Эта градостроительная устойчивость планировочной структуры хорошо сочетается с идеями социальной устойчивости и созданием идеальной общности людей. Концепции идеального города широко распространяются на различные варианты современных планировочных систем городов и целые системы расселения, связываясь с идеями создания баланса природной и техногенной среды и идеального экологического пространства для жизнедеятельности человека [5].

Исторически в понятие идеального города входило некое общественное пространство, которое удобно жителям города как в социальном отношении, так и архитектурном.

Насыщение города различными функциями происходит в результате естественного процесса развития градостроительной системы. Как следствие, города не только наполняются жителями, но и насыщаются производственными, культурно-бытовыми функциями, что вызывает необходимость трансформации элементов градостроительной среды. В процессе урбанизации города становятся менее комфортными с точки зрения условий жизнедеятельности, в результате возникают теории формирования «идеального пространства» с позиции определения оптимальной численности, плотности различных элементов градостроительной среды и планировочной структуры. В результате концепция идеального города остается все также актуальной, так как необходимо искать ту модель города, которая сможет воспринимать нагрузки урбанизации, но при этом сам город будет оставаться комфортным

для жителей такого города, т. е. безопасным и сохранять благоприятные условия для жизнедеятельности. Помимо этого, следует учитывать факт, что город — это динамическая система, которая претерпевает изменения в процессе развития. Причем изменения предполагают не только территориальный рост и строительство новых объектов согласно планам развития и требованиям, но и уплотнение имеющейся городской среды.

По проведенным исследованиям Е. Ю. Витюк [6] выделяются следующие типы концепций идеальных городов (табл.):

- город-крепость (звездообразные города);
- город-утопия (идеальные города, создаваемые в литературных произведениях);
- город-сад;
- просторный город;
- индустриальный город (город-завод);
- линейный город;
- город будущего (градостроительные концепции развития и роста городов, возникшие в начале XX в.).

Типы «идеальных» городов

Автор, период, страна	Концепция/тип	Реализация
Платон, 427—347 гг. до н. э., Атлантида	Город-крепость (круг)	В плане город представляет собой чередование водных и земляных колец. Внешнее водное кольцо соединено с морем каналом длиной в 50 стадиев (1 стадий — ок. 193 м). Земляные кольца, разделявшие водные, имели вблизи мостов подземные каналы, приспособленные для прохода судов. Самое большое по окружности водное кольцо имело в ширину три стадия, таким же было и следовавшее за ним земляное. Следующие два кольца, водное и земляное, были шириной в два стадия; наконец, водное кольцо, опоясывающее находившийся в середине остров, было в стадий шириной. Остров, на котором стоял дворец, имел пять стадиев в диаметре (965 м) и был, так же как и земляные кольца, обведен каменными стенами. Кроме дворца, внутри акрополя находились храмы и священная роща. На острове были два источника, в изобилии дававшие воду для всего города
Филарете, XV в., Сфорциндр	Город-крепость (звездообразный город)	Город представлял в плане восьмиугольную звезду, образованную пересечением под углом в 45 град. двух равных квадратов со стороной 3,5 км. В «выступах» звезды располагались восемь круглых башен, а в «карманах» — восемь городских ворот. Ворота и башни соединялись с центром радиальными улицами, часть из которых представляла собой судоходные каналы. В центральной части города на возвышении располагалась главная, прямоугольная в плане площадь, по коротким сторонам которой должны были находиться княжеский дворец и городской собор, а по длинным — судебные и городские учреждения. В центре площади размещались водоем и дозорная башня. К главной площади примыкали две другие, с домами наиболее именитых жителей города.

Автор, период, страна	Концепция/тип	Реализация
		На пересечении радиальных улиц с кольцевой дорогой располагались еще шестнадцать площадей: восемь торговых и восемь для приходских центров и церквей
Э. Говард, 1900 г., Великобритания	Город-сад	Идея Э. Говарда — построить новые идеальные города, которые помогут разгрузить перенаселенную столицу. Прежде всего это должны быть небольшие поселения, примерно на 32 тыс. чел. Они могут объединяться в ассоциации с единым центром, обслуживающие до 250 тыс. чел. Жилая часть города — круг площадью 1000 акров, поделенный на шесть секторов. В центре всего сад, окруженный общественными зданиями: торговый центр, библиотека, больница, театры, музеи. Второй круг — зеленый парк с застекленными оранжереями, спортивными площадками, торговыми и выставочными зонами. Далее чередуются круги жилой застройки и зеленых насаждений. Администрация предлагает архитекторам свободу творчества и самовыражения, в основном строятся малоэтажные дома, коттеджи, с личными приусадебными участками. Окружает город два пояса: первый похож на большой парк, в котором расположены школы, церкви и административные здания, второй — промышленная зона фабрики, заводы, склады, рынки. Вокруг города общественная земля, которую оберегают от застройки. Город-сад не может перенаселиться, как это происходит с мегаполисом. Для него единственная возможность разрастись — создать свой город-спутник за границей сельскохозяйственного пояса. Говард считал, что в итоге вокруг Лондона должно появиться больше двух десятков таких городов
Тони Гарнье	Индустриальный город	
Артуго Сориа-и-Мата	Линейный город	
Ле Корбюзье, 1922 г., Франция	Лучезарный город	Первое, что бросается в глаза при рассмотрении проекта лучезарного города, — это обилие света, воздуха, зелени. В центре, на равном расстоянии друг от друга, расположены несколько одинаковых стеклянных небоскребов. Эти башни-великаны сложной конфигурации поддерживаются многоэтажными строениями, расположенными в форме греческого орнамента меандра. Противопоставляя свой лучезарный город тесному и разномастному Нью-Йорку, Ле Корбюзье расставил дома свободно, геометрически правильно, уделяя большое внимание пешеходным зонам и скверам. Город на 3 млн жителей занимал площадь около 70 км ² , что в 11 раз меньше площади кольца МКАД. Площадь жилой застройки составляла примерно 40 км ² . Но, несмотря на высокую плотность населения и компактность застройки, проект был настолько проработан, что гарантировал каждому из 3 млн чел. все блага цивилизации: собственную квартиру на семью, необходимые для жизни сервисы, достаточно света и воздуха. В эпицентре города находился вокзал

История градостроительства рассматривает города-крепости начиная с I в. до н. э. и до эпохи Ренессанса. Планировочная структура городов-крепостей обусловлена боевыми задачами и создавалась, как правило, на базе военных лагерей (рис. 1).



Рис. 1. Город крепость (звездообразный город). Сфорциндр Филарете

На протяжении истории архитекторы, градостроители, строители, философы, а впоследствии урбанисты пытались разработать модель идеального города. Сама идея идеального города считается утопичной, так как, несмотря на множество существовавших проектов, так и не была реализована [7—10], однако утопия — это живое явление сознания, культуры и науки, несмотря на объективное присутствие свойства «ненаучности» (или некоторых отступлений от признанных законов в науке) в утопических проектах, которая позволяет посмотреть по-другому на градостроительное освоение пространства, что позволяет искать новые пути взаимодействия между объектами и явлениями.

Наибольшего распространения получили две планировочные структуры моделей идеальных городов — линейная и радиально-кольцевая. Идеальный город Платона [11] заключается в полной изоляции от окружающего мира и способности к самообеспечению (рис. 2).

Несмотря на определенную независимость данного города от внешних факторов, эта теория не может быть осуществима, так как любой город — это система. Система элементов, формирующих градостроительное пространство, причем система открытого типа, а значит, данная система зависима от воздействия внешних факторов.

В идеальном городе Аристотеля [12], несмотря на создаваемую защиту от внешнего воздействия, есть входы в город с различных сторон.

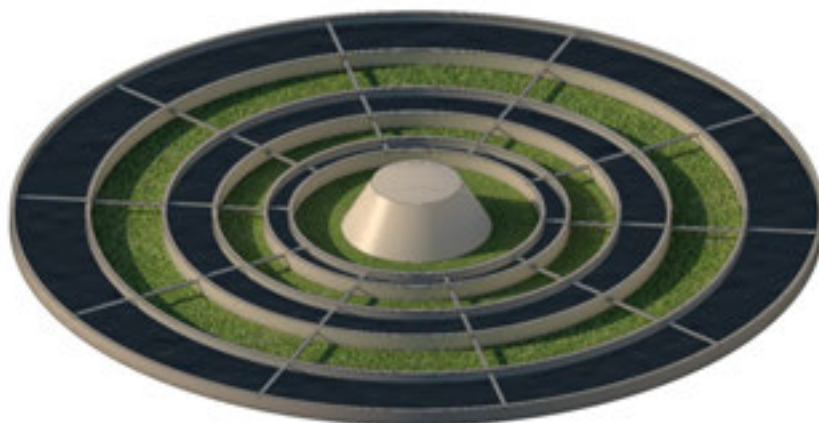


Рис. 2. Модель идеального города Платона

В целом для идеальных городов XV—XVI вв. характерны следующие черты:

- по периметру оборонительная стена;
- четкая геометрическая форма;
- симметричность плана;
- цикличность композиции;
- иерархичность пространств;
- гармония между целым и частным [6].

Следует также отметить, что данные свойства были положены в основу планировки различных городов того времени.

Концепция города-сада возникла на фоне стремительного развития промышленности Великобритании в самом конце XIX в. Именно тогда машинное производство достигло такой концентрации, при которой природные биоценозы оказались неспособны справляться с потоками загрязнений. Энергетика, основанная на угле, выбрасывала в воздух тысячи тонн сажи и ядовитых окислов. Сточные воды бесконтрольно сливались в природные водоемы (задача контроля над загрязнениями никому еще даже не приходила в голову). Почва пропитывалась кумулятивными ядами — медью, свинцом, оловом и цинком — и быстро становилась не просто бесплодной, но смертельно опасной для живущих на ней людей. Промышленную столицу мира, Лондон, раз за разом поражали зловонные удушливые туманы, а Темза превратилась в сточную канаву, рассадник холеры и тифа. На этом фоне и возникла концепция города-сада — наполовину мечта, наполовину бизнес-проект рассредоточения производства до уровня, способного сосуществовать с природными системами.

Эбенизер Говард поэтично рисовал (рис. 3), а затем с цифрами в руках доказывал жизнеспособность небольших городков при фабриках. Получалось нечто среднее между рабочим поселком и богатой деревней — с коллективными формами организации быта, с общественным управлением процессами градостроительного устройства и повседневной эксплуатации поселений, с комфортабельными индивидуальными домами коттеджного типа для отдельной семьи, с персональными участками земли для разведения сада, огорода, домашней живности [13].

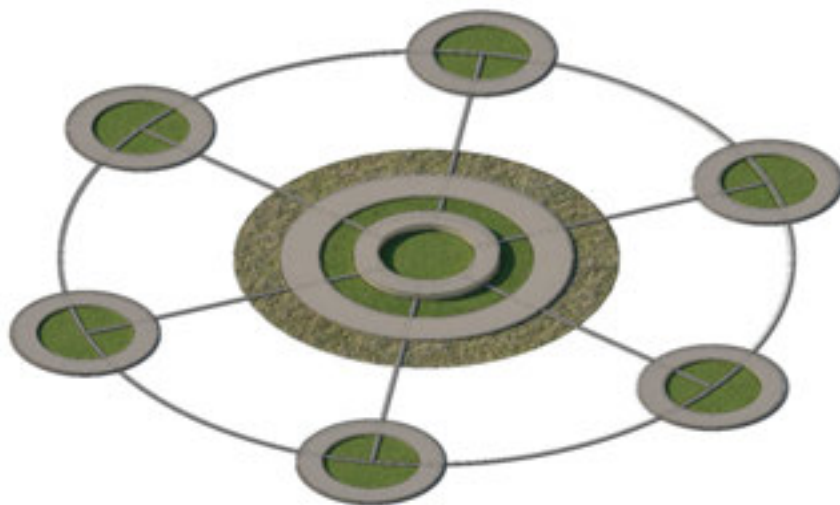


Рис. 3. Город-сад. Э. Говард

После окончания Гражданской войны в СССР на повестке дня стояли вопросы масштабной застройки и восстановления жилого фонда страны. Значительное число авторитетных архитекторов горячо поддерживали концепцию города-сада. Архитекторы видели в этой концепции прообраз поселений коммунистического будущего — с общественной собственностью на землю и государственным финансированием возведения жилища и инфраструктуры, лишенным стремления к получению прибыли. С этих сторон идея поселков-садов для рабочих той или иной фабрики или завода, трансформировавшаяся в сторону государственного финансирования и бесплатного выделения национализированной земли под застройку, рассматривалась в трудах архитекторов старшего поколения, начавших сотрудничать с большевиками: Г. Бархина, Б. Великовского, И. Вerezубова, Е. Виленц-Горовиц, Л. Воронина, Я. Гевирца, И. Гельмана, А. Глазырина, И. Диканского, В. Иванова, В. Карповича, П. Кожаного, В. Мачинского, М. Петрова, П. Прейса, С. Семенова, З. Френкеля, Д. Шейниса и др. [14].

Однако необходимо понимать, что идея города-сада не связана с устройством газонов, общественных зеленых пространств или садово-парковым искусством. В говардовских городах-садах никакого особого озеленения и благоустройства не было. Город-сад не был ни «садоводческим явлением», ни «планировочно-художественным изобретением». Он был прежде всего инновацией социального порядка. Но именно эту социальную новизну идеи Говарда упорнее всего и отказывалась замечать советская градостроительная наука [15].

Более современная модель идеального города Ле Корбюзье заключается в формировании лучезарного города, который расположен на большой парковой территории. На окраинах города находятся муниципальные и административные здания, а следовательно, это основные центры притяжения транспортных потоков, формируемых жителями такого города. Однако по мере развития урбанизированности территорий предполагается, что административные здания должны размещаться в центральной части.

Исторический период, соответствующий концу XX в. (начиная с 1990 г. и по настоящее время), ознаменовал собой переход индустриального общества (урбанизированных городов) в постиндустриальный формат функционирования.

Масштабные изменения затронули практически все сферы жизнедеятельности, прежде всего посредством новых технологий, связанных с передачей и обработкой информации. Формирование виртуальных образов становится базовым инструментом влияния на субъекты восприятия, фактором, определяющим условия и формы труда, психологию и мировосприятие.

Состояние архитектурной науки к моменту завершения индустриальной эпохи характеризуется острым кризисом стиля модернизм, который вполне логично трансформировался в архитектурный стиль постмодернизм, «начавший переоценку отношений между современной архитектурой и историческим прошлым» [16]. Все это способствует особому вниманию в создании современной модели идеального города, однако сегодня, по прошествии ста лет со времени тех бурных и драматичных дискуссий об идеальном городе, исследователи по-прежнему не могут однозначно решить, какая же из градостроительных концепций оказалась более плодотворной. С одной стороны, города-сады, построенные по принципам Э. Говарда, существуют до сих пор во многих странах. Разумеется, с годами первоначальная концепция заметно модернизировалась, в некоторых случаях были утрачены принципиальные элементы (например, многие современные города-сады вовсе не привязаны к производствам, а представляют собой спальные пригородные микрорайоны или фрагменты, встроенные в городскую структуру) [15].

Рассматривая концепции «идеального города», необходимо учитывать особенности и принципы планировочной структуры. Академик Г. В. Мазаев для оценки планировочной структуры идеальных городов выделяет принципы идеального города [5].

Принцип целостности — идеальный город рассматривается как целостный, одновременно создающийся и полностью завершённый единый градостроительный объект.

Принцип архитектурности — идеальный город проектируется как архитектурный объект на общих композиционных планировочных идеях и методах, идеальный город подобен архитектурному объекту.

Принцип «вневременности» — идеальный город существует вне времени, он не нуждается в каком-либо развитии, иначе будет нарушена его «идеальность», он существует «всегда» в своем неизменном виде, для него нет прошлого и будущего, только настоящее.

Принцип геометризации композиции — идеальный город строится по строгим геометрическим правилам, он всегда имеет регулярную композицию плана и всей планировочной системы, симметричную, часто с несколькими осями симметрии. Композиция охватывает всю территорию идеального города и все его планировочные элементы: систему центров, схему улично-дорожной сети, форму площадей и жилых кварталов.

Принцип авторства — идеальный город разрабатывается одним автором как авторское произведение градостроительного искусства и часто содержит в планировке авторские формы ее элементов.

Идеальная планировочная структура является теоретической моделью, предполагающей удовлетворение всех потребностей общества, что выражается в оптимальной планировочной структуре города, которая должна быть в процессе урбанизации гибкой системой.

Урбанист Л. Мамфорд предложил основные тезисы, которые, на наш взгляд, должны лечь в основу формирования современного идеального города, а именно:

- города не должны стихийно разрастаться, превращаясь в мегаполисы, главная функция города состоит в передаче культурного наследия;
- размер города должен соответствовать социальным структурам и социальным связям города.

Все это должно лечь в основу определения оптимальной структуры города с целью определения его дальнейшего территориального увеличения и целесообразности данного увеличения в центре влияния города либо дополнительного района.

Большинство современных моделей идеальных городов основаны на экологических принципах, т. е. на принципах рационального обращения с природой, экономии ресурсов. Это такие модели, как Доегтан — город здорового будущего, Масдар, Умка, Метрополис и др. [17]. Все современные модели городов создаются как изолированное пространство, независимое от внешнего окружения.

Неблагоприятные экологические факторы урбанизированной среды возникают, как правило, при повышенной концентрации элементов градостроительной среды, оказывающих техногенное воздействия на эту среду. Подобная концентрация элементов происходит из-за нерациональной планировочной структуры. Идеи современного идеального города заключаются в формировании экологически благоприятного пространства. Однако данные модели идеальных городов представляют собой изолированное пространство, а следовательно, не могут быть доступны для большинства городских жителей. Следовательно, необходим поиск более универсального решения проблемы оптимизации существующей планировочной структуры с целью формирования идеального города.

Основным приоритетом на сегодня в развитии городов должно быть не формирование мегаполисов, а развитие агломераций, что является локомотивом экономического роста и развития современной инновационной экономики [18].

Результаты исследований подтверждают факт неблагоприятного влияния экологии мегаполисов на человека и окружающую среду в целом. Агломерация — это совокупность населенных пунктов, которые могут развиваться самостоятельно, но при объединении единой транспортной инфраструктурой, формировании единого производственного потенциала будет проявлен синергетический эффект (рис. 4) [19].

Проведенный анализ исторических моделей идеальных городов позволил установить две наиболее приемлемые планировочные структуры городских агломераций — радиально-кольцевую и прямоугольную. Выбор планировочной структуры должен определяться территориальными условиями формирования.

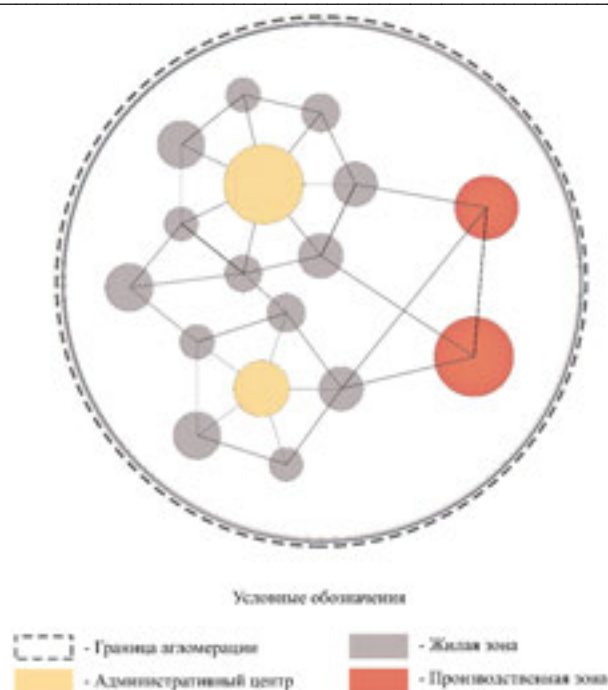


Рис. 4. Планировочная схема размещения городских агломераций

Формирование городских агломераций позволит распределить техногенные нагрузки на окружающую среду. Размещение производственной базы и населенных пунктов должно осуществляться в соответствии с определенными санитарными требованиями и природно-климатическими условиями. В каждом населенном пункте осуществляются самостоятельно административные функции. Дальность размещения определяется транспортной инфраструктурой и радиусом обслуживания. При этом для населенных пунктов должна быть определена емкость территории, определяющая количество жителей населенного пункта, с учетом имеющейся производственной базы административного уровня и местного, уровня социальной инфраструктуры, а также уровня антропогенной нагрузки, которую окружающая среда может воспринимать без ущерба для себя. Определение экономического потенциала жилого центра, его производственной базы позволит оптимизировать транспортные перемещения за счет формирования транспортной инфраструктуры с учетом потребности.

В настоящее время государственная политика направлена в сторону развития агломераций и, согласно распоряжению Правительства РФ от 6 октября 2021 г. № 2816-р, при инициативе минэкономразвития в РФ предлагается создать условия для интенсивного экономического развития 41 крупной агломерации, а также для опорных населенных пунктов сельских территорий.

В рамках этой инициативы предполагается «ввести единую градостроительную и транспортную политику в городских агломерациях, синхронизировать государственное финансирование мероприятий на сельских территориях, развивать инфраструктуру, а также прорабатывать нормативную базу для опережающего развития городских агломераций».

В российских регионах также предполагается создать межгородские агломерации, проект коснется 37 субъектов страны. Полный список агломераций (в том числе четыре межрегиональные) будет прописан в поправках к закону «Об общих принципах организации местного самоуправления», которые разрабатывает Минфин России. В законе будут содержаться условия для создания межгородских агломераций и стимулирования регионов и муниципалитетов к заключению соглашений о сотрудничестве и совместном развитии инфраструктур.

Цель государственной поддержки агломераций — повышение качества среды проживания и эффективное развитие экономики [18].

Формирование агломераций позволит улучшить не только экологическую ситуацию в городах и населенных пунктах за счет снижения концентрации антропогенной нагрузки на окружающую среду, но и экономическую базу населенных пунктов за счет организации корпоративных объединений промышленной базы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гриценко В. П., Штомпель Л. А. От smart city к blockchain city: в поисках образа идеального города // Культурная жизнь юга России. 2018. № 3(70). С. 12—17.
2. Морозона Н. А., Пузевич А. В. Межведомственное взаимодействие на федеральном и муниципальном уровне в соответствии с концепцией Smart-city // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 10(27). С. 566—569.
3. Fang Z., Yin B., Du Z., Huang X. Fast environmental sound classification based on resource adaptive convolutional neural network. Scientific Reports, 2022.
4. Кравченко Ю. С. Горда будущего // Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Студент и наука. 2015. № 8. С. 180—186.
5. Мазаев Г. В. О соотношении понятий: «идеальный город» — «регулярный город» // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 г. : сб. науч. тр. РААСН. М. : АСВ, 2019. С. 340—346.
6. Витюк Е. Ю. В поисках идеального города // Академ. вестн. УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2. С. 67—72.
7. Романова А. Ю. Трансформация идеи: от «идеального города» к «городу будущего» // Architecture and modern information technologies. 2015. № 1(30). С. 19.
8. Urban greenness, mixed land-use, and life satisfaction: evidence from residential locations and workplace settings in Beijing / W. Wu, W. Y. Chen, Y. Yun, F. Wang, Z. Gong // Landscape and Urban Planning. 2022. Vol. 224. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2022.104428.
9. Калинина Е. О. Эволюция структур идеального города под влиянием социальных факторов // Архитектурные исследования. 2018. № 2(14). С. 93—103.
10. Яницкий О. Н. К созданию модели идеального города // Козволюция и ноосфера: исследования, аналитика, прогнозирование. 2018. № 4(6). С. 5—25.
11. Поляков Е. Н., Крюкова Ю. Е. Концепция «идеального» города — государства в трудах Платона (427—347 гг. до н. э.) // Вестн. Томского гос. архитектур.-строит. ун-та. 2015. № 3(50). С. 9—23.
12. Мирзоян А. В. Взгляды Аристотеля на идеальный город // Вестн. Моск. гор. пед. ун-та. Сер. : Философские науки. 2017. № 2(22). С. 91—94.
13. Витюк Е. Ю. К вопросу реализации концепций идеальных городов-звезд // Архитектон: известия вузов. 2013. № 2(42). С. 3.
14. Howard E. Garden Cities of To-Morrow. London : Faber and Faber, 1902. 147 p.
15. Меерович М. Градостроительная политика СССР (1917—1929). От города-сада к ведомственному рабочему поселку. 2-е изд. М. : Новое литературное обозрение, 2018. 352 с.
16. Крымов М. Д. Современные утопические представления о «городах будущего» // Успехи современной науки. 2016. Т. 2. № 7. С. 167—171.

17. Михайлова А. С., Соловьева А. А. Фантастические проекты городов будущего // Дизайн-Ревю. 2013. № 3-4. С. 116—122.

18. Герцберг Л. Я. Стратегия сбалансированного пространственного развития 2030: от научных обоснований к реализации // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 4. С. 5—12. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-4-5-12.

19. Растяпина О. А., Мерзликина Г. С. Развитие форм интеграционного взаимодействия // Изв. высш. учеб. заведений. Сер.: Экономика, финансы и управление производством. 2010. № 4(6). С. 35—43.

© Прокопенко В. В., Растяпина О. А., Плешаков И. Н., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В., Растяпина О. А., Плешаков И. Н. Градостроительная трансформация поселения, или Идеальный город // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 270—280.

Об авторах:

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; v.v.p_24@mail.ru

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; o_kast@list.ru

Плешаков Илья Николаевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; pleshackovi@yandex.ru

Vyacheslav V. Prokopenko, Oksana A. Rastyapina, Ilya N. Pleshakov

Volgograd State Technical University

URBAN PLANNING TRANSFORMATION OF A SETTLEMENT OR AN IDEAL CITY

The article deals with the theoretical aspects of the development of the concept of “ideal city”. The concept of an “ideal city” is given in a historical context, as the theory develops and the modern perception of a person, from the point of view of the perception of the urban environment. Based on the theoretical analysis, the authors determined the need for the formation of urban agglomerations, on the basis of structural links between settlements within the agglomeration, it is possible to improve the environmental situation and form industrial potential. Which will generally affect the successful development of the territory.

Key words: ideal city, ideal planning structure, transformation of urban space, urban agglomerations.

For citation:

Prokopenko V. V., Rastyapina O. A., Pleshakov I. N. [Urban planning transformation of a settlement or an ideal 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], 2022, iss. 2, pp. 270—280.

About authors:

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.v.p_24@mail.ru

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; o_kast@list.ru

Ilya N. Pleshakov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pleshackovi@yandex.ru

УДК 711.4-112

О. А. Растяпина, В. В. Прокопенко, О. А. Ганжа

Волгоградский государственный технический университет

КРИТЕРИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Создание благоприятных и качественных условий жизнедеятельности градостроительной среды способствует повышению ее привлекательности и в дальнейшем — социально-экономическому развитию. В целях формирования таких условий необходимо проведение анализа компонентов градостроительной среды. Каждая из составляющих предполагает наличие критериев, по которым возможно проведение оценки качества градостроительной среды. Применение комплексного показателя качества среды позволит использовать не только ряд экологических и экономических показателей, определяющих социально-экономический статус территории, но и ряд показателей, определяющих особенности, уровень благоустройства и безопасности территории.

К л ю ч е в ы е с л о в а: качество градостроительной среды, угрозы благоприятного развития градостроительной среды, компоненты градостроительной среды, эффективность градостроительной среды.

Постановка задачи

Повышение уровня качества жизни является стратегической задачей территориального планирования поселений. Уровень качества жизни населения, помимо экономической составляющей, определяется уровнем развития градостроительной среды, экологическими параметрами и реализацией мероприятий, направленных на сохранение окружающей среды. Все это соответствует требованиям современного понятия устойчивого развития городской среды. Достижение параметров устойчивого развития, определенных в мировом масштабе, неизбежно способствует формированию экономического имиджа государства, а соответственно, экономической эффективности. Для этого на глобальном уровне должны быть использованы мероприятия, направленные на внедрение общей политики обеспечения безопасных и благоприятных условий урбанизированной среды, которые способствуют достижению устойчивого развития.

На локальном уровне в условиях современной урбанизированной среды человек подвержен воздействиям, оказывающим на него отрицательное действие, несмотря на то, что эта среда создается человеком для жизни, и совершенствование ее направлено на повышение качества уровня жизни в этой среде [1, 2]. В различных исследованиях отмечено порядка 600 наименований ситуаций, связанных с риском и экстремальными условиями жизни в условиях урбанизированной среды [3—5]. Все неблагоприятные ситуации можно поделить на группы [3]: ситуации техногенного характера, природного происхождения и экологического характера. К ситуациям техногенного характера следует отнести ситуации, связанные с транспортной аварийностью, пожары, аварии с выбросами вредных веществ (радиоактивных и биологически опасных веществ), обрушения зданий, аварии в коммунальной инфраструктуре города (коммуникации, на электроэнергетических объектах, очистных сооружениях) и др., всего выделяется порядка 45 наименований. К ситуациям

природного происхождения относятся процессы, протекающие в результате природных факторов. Это геофизические, геологические, метеорологические, агрометеорологические, гидрологические, природные пожары и инфекционные заболевания. Ситуации экологического характера: изменение свойств и состава воздушной среды, геологической среды (почв, недр, ландшафта), гидросферы. Как правило, под влиянием техногенных факторов развивается большинство неблагоприятных природных процессов на городской территории. Именно поэтому становится актуальным вопрос не только снижения техногенной нагрузки на окружающую среду, но и проведения оценки экологической безопасности окружающей градостроительной среды, а также разработки целенаправленных мероприятий с целью повышения качества урбанизированной среды.

Составляющие урбанизированной среды

Урбанизированная среда достаточно многообразна и ее качество определяется множеством факторов. С учетом современных тенденций и необходимости формирования безопасной среды следует большее внимание уделять неблагоприятным ситуациям экологического характера. Недостаточно соблюдать стандарты по множеству экологических параметров, необходимо проведение анализа факторов, которые способствуют формированию безопасной (благоприятной), качественной градостроительной среды. Устойчивое развитие должно определяться не стабильными темпами освоения пространства с учетом современных требований, а возможностью природной среды восстанавливаться с учетом ее градостроительного (антропогенного) освоения [6]. Устойчивое развитие заключается в сбалансированном развитии антропогенной и природной среды. Факторы, оказывающие неблагоприятное влияние на экологическое состояние города, будут считаться потенциальными угрозами развития этой среды. Соответственно, для достижения благоприятных условий развития градостроительной среды, необходим анализ факторов, оказывающих влияние на эту среду и являющихся потенциальными угрозами [7, 8].

Учитывая многообразие и сложность градостроительной среды, факторы, оказывающие влияния на нее и в целом формирующие эту среду, следует объединить в группы: природные, архитектурно-ландшафтные, социально-экономические, инфраструктурные, техногенные (рис. 1).

В группу природных факторов входят критерии, характеризующие климатические условия, гидрогеологические условия территории, гидрологические, топографические условия, вероятность возникновения неблагоприятных природных процессов при существующих условиях (табл. 1). Данные критерии определяют степень комфортности градостроительной среды и могут быть благоприятными или неблагоприятными для освоения и формирования градостроительной среды. В случае неблагоприятных критериев для освоения необходима разработка мероприятий, направленных на повышение уровня благоустройства и комфортности градостроительной территории. Это, как правило, планировочные мероприятия. Благоприятные природно-климатические условия создают более привлекательные условия для жизнедеятельности, а не благоприятные снижают привлекательность территории. При комплексной оценке качества урбанизированной среды в случае положительных характеристик, не требующих дополнительных планировочных

мероприятий, они будут оказывать положительное влияние, т. е. увеличивать оценку. В случае если эти критерии носят отрицательный характер, усложняют освоение территории и требуют организации дополнительных мероприятий по формированию благоприятных условий жизнедеятельности, комплексная оценка качества урбанизированной среды будет снижаться.



Рис. 1. Компоненты градостроительной среды: 1 — природные факторы (температурные, ветровой, радиационный, характеристики грунтовых вод, водоемов, природные процессы, рельеф); 2 — архитектурно-ландшафтные (архитектурная ценность, ландшафтные и композиционные особенности); 3 — социально-экономические (освещение, транспортные пути (наличие и качество) заболеваемость, инженерные коммуникации); 4 — инфраструктурные (автомобилизация, транспортные характеристики, коммунальные объекты, информативность, туристические объекты); 5 — техногенные (характеристики застройки, физическое загрязнение, загрязнение атмосферы, почвы)

Т а б л и ц а 1

Группа природных факторов

Факторы/критерии	Оценка (влияние)
Температурный режим	Благоприятный (+) или неблагоприятный (–)
Ветровой режим	
Радиационный режим	
Качество грунтовых вод	
Наличие грунтовых вод (глубина залегания)	
Грунтовые условия	
Наличие водоемов	
Рельеф	
Неблагоприятные природные процессы	Вероятность (–)

Группа архитектурно-ландшафтных факторов состоит из критериев, характеризующих природный и антропогенный ландшафт городской среды, архитектурно-планировочную композицию, сформированную в процессе развития города. Для оценки этой группы факторов следует провести анализ критериев: архитектурных (историко-архитектурная и культурная ценности) элементов территории [9—11], ландшафтных особенностей территории, композиционных элементов территории. При анализе ландшафтных критериев следует провести анализ ценности ландшафта, его пригодности для формирования благоприятных, безопасных и комфортных условий жизнедеятельности. Анализ исторической и архитектурной ценности территории необходимо отразить в композиционном плане территории, формировании определенного архитектурного стиля. Наличие подобных элементов позволит придать определенный колорит и ценность территории, что скажется на привлекательности территории. Отсутствие таких элементов никак не сказывается на общей комплексной оценке комфортности территории и поэтому не несет отрицательного воздействия. Таким образом, наличие архитектурных, ландшафтных особенностей территории в целом увеличивает комплексную оценку качества урбанизированной среды (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Архитектурно-ландшафтные факторы

Факторы/критерии	Оценка (влияние)
Архитектурная стилистика	Наличие (+) / отсутствие (–)
Ценные элементы застройки	
Ценность ландшафта	
Наличие элементов, требующих сохранения	
Историко-архитектурная ценность	
Культурная ценность	

Социально-экономические факторы (табл. 3) формируют социальную адаптивность градостроительной среды, а также возможности экономической базы.

Т а б л и ц а 3

Социально-экономические факторы

Факторы/критерии	Оценка (влияние)
Уличное освещение	Сопоставление с численностью (площадью среды) со среднерегиональными значениями: наличие (+) / отсутствие (–)
Качество дорожного покрытия	
Устройство поверхностных элементов инженерных коммуникаций	
Качество/наличие пешеходных дорожек	
Уровень заболеваемости	Приращение (–) / снижение уровня (+)

Критерии данной группы включены в анализ существующего положения градостроительной среды и сопоставляются с предшествующими показателями. Именно на основании расчета темпов приращения возможно судить об эффективности реализуемых мероприятий и оценить степень благоприятности градостроительной среды. Не менее важна социальная безопасность с

точки зрения ощущения и восприятия безопасности условий жизнедеятельности в урбанизированной среде. Для оценки социальной безопасности необходимо провести анализ: уличного освещения, качества дорожного покрытия (наличие ям, дефектов дорожного покрытия и т. п.), оценку безопасности элементов инженерных коммуникаций (закрытые канализационные люки), наличие пешеходных дорожек, тротуаров. При выставлении оценки по данной группе показателей наиболее целесообразно хронологическое сопоставление данных. При наличии темпов увеличения это свидетельствует о благоприятном освоении территории и увеличивает комплексную оценку качества. В случае отрицательной динамики или при ее отсутствии комплексная оценка качества будет снижена.

Группа инфраструктурных факторов включает критерии анализа транспортной, коммунальной и информационной инфраструктуры (табл. 4). Анализ транспортной инфраструктуры [12] предполагает рассмотрение доступности транспорта для населения, охват всех точек градостроительной среды, постоянство маршрутов, разнообразие видов транспорта, уровень автомобилизации. Для оценки коммунальной инфраструктуры необходимо оценить критерии: надежности, безопасности, энергоэффективности и долговечности инженерно-коммунальных систем. Информационная инфраструктура оценивается по степени современности представления информации для горожан, скорости и точности представленной информации, а также по широте и разнообразию информации. При анализе данного критерия необходимо оценить степень доступности (транспортной и информационной) основных центров притяжения туристов.

С целью оценки качества урбанизированной среды необходим расчет удельных показателей и сопоставление со среднерегionalным значением и территориями аналогичных условий. При превышении среднерегionalного уровня комплексный показатель качества увеличивается, в противном случае — снижается. Для таких критериев, как наличие объектов, привлекательных для туристов, информационная доступность, соответствие современным требованиям к инфраструктуре, оценка выставляется: при наличии критерия — положительная, при отсутствии критерия — отрицательная (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Инфраструктурные факторы

Факторы/критерии	Оценка (влияние)
Доступность транспорта	Удельные показатели (на человека или площадь), сопоставление с региональным значением, выше уровня (+)
Разнообразие транспорта	
Уровень автомобилизации	
Количество парковок	
Физический износ коммунальных сооружений	Более 50 % оказывает отрицательное влияние
Соответствие современным требованиям (обновление)	Наличие (+) / отсутствие (–)
Места привлечения туристов	
Доступность информации о транспорте	
Доступность информации о мероприятиях	

Факторы, составляющие техногенную градостроительную среду (табл. 5), могут быть рассмотрены с точки зрения оценки всех функциональных зон градостроительной среды на предмет их безопасности расположения и целесообразного взаимного размещения; качества застройки. Параметры качества застройки включают анализ материала застройки, технологии строительства, этажности зданий, времени эксплуатации. Система озеленения территории, с одной стороны, имеет защитные функции, с другой стороны, способствует созданию благоприятного визуального облика градостроительной среды [13—15]. Анализ визуального облика застройки основывается на оценке агрессивности и гомогенности полей.

Таблица 5

Техногенные факторы

Факторы/критерии	Оценка (влияние)
Материал застройки	Безопасный (+) / опасный (–)
Износ застройки (более 50 %)	
Этажность зданий (пропорциональность застройки)	Благоприятный (+) / (–)
Визуальная оценка	
Видовое разнообразие озеленения	Наличие (+) / отсутствие (–)
Озеленение	
Качество атмосферного воздуха	Сопоставление с нормативами, соответствие (+) / несоответствие (–)
Акустическое загрязнение территории	
Радиационное загрязнение территории	

Все факторы техногенной среды могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие. Поэтому для оценки их влияния необходимо сопоставление с нормативными значениями, в случае превышения которых влияние должно оцениваться как отрицательное. Это относится к критериям, которые можно измерить (загрязнение атмосферного воздуха, воды, почвы). Степень озелененности территории также сопоставляется с нормативными значениями. Однако превышение нормативных значений параметров озелененности оказывает положительное влияние, в то время как недостаточное значение этого параметра характеризуется как отрицательное влияние. Система озелененных территорий должна быть разнообразна, что способствует эффективной защите и оздоровлению окружающей среды вследствие негативного влияния антропогенного воздействия.

Анализ представленных критериев в различных группах, в зависимости от значимости критериев, позволяет определить уровень качества городской среды. При положительном влиянии показатель комплексной оценки будет увеличиваться, при отрицательном влиянии фактора — соответственно снижаться. Чем выше показатель комплексной оценки градостроительной среды, тем более благоприятные условия сформированы для развития и устойчивого функционирования среды.

Представленный анализ факторов, оказывающих влияние на качество градостроительной среды, подтверждает комплексность и многогранность урбанизированной среды. Соответственно, экономическая эффективность не может определяться на основании только экономических показателей или

социальных, характеризующих качество жизни горожан. Необходимо проведение многофакторного анализа на основании оценки критериев, позволяющих определить уровень развития градостроительной среды. Формирование благоприятных условий жизнедеятельности в соответствии с современными требованиями населения, внедрение технологий, способствующих развитию «умной» градостроительной среды, развитие туристической инфраструктуры — все это способствует экономическому развитию градостроительной среды, а также устойчивому развитию.

Анализ отмеченных показателей позволит определить потенциальные угрозы развитию градостроительной среды в случае их отрицательного влияния. Учитывая детальность представленных факторов, с целью повышения эффективности функционирования градостроительной среды необходимо разработать мероприятия, направленные на нейтрализацию негативного воздействия групп факторов на градостроительную среду и достижение устойчивого развития.

Представленный анализ компонентов градостроительной среды позволяет определить основные направления оценки уровня качества среды. При рассмотрении направлений выявлены критерии оценки градостроительной среды. Все представленные критерии могут быть рассмотрены как оказывающие положительное или отрицательное влияние. Степень влияния должна учитываться при определении показателя общей комплексной оценки, с соответствующим математическим знаком. Если критерий оказывает положительное влияние, то он увеличивает показатель комплексной оценки, если отрицательное, то снижает. Учитывая разнообразие градостроительных территорий и особенности развития, для каждого критерия необходимо введение весовости (значимости) данного параметра. Коэффициент весовости должен рассчитываться на основании мнения экспертов, как средневзвешенное значение значимости фактора для конкретной градостроительной ситуации.

С целью проведения экспертной оценки при формализации априорных сведений и установления степени согласованности между экспертами применяется априорное ранжирование факторов, позволяющее установить влияние и значимость каждого фактора группы.

Метод априорного ранжирования факторов [16] заключается в ранжировании факторов, которые, согласно априорной информации, имеют существенное влияние и ранжируются в порядке убывания вносимого ими вклада. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга — места, которое отведено экспертом в процессе проведения опроса данному фактору при ранжировании всех факторов с учетом предполагаемого (количественно неизвестного) влияния на параметры оптимизации. В процессе проведения опроса каждый эксперт заполняет анкету, в которой перечислены факторы, их размерность и предлагаемые интервалы варьирования. При заполнении анкеты эксперт определяет место факторов в ранжированном ряду.

Обработка результатов опроса проводится по алгоритму (рис. 2).

Оценка степени согласованности мнений экспертов, определяемая с помощью коэффициента конкордации w , рассчитывается по формуле

$$w = \frac{12s}{m^2(k^3 - k)}.$$



Рис. 2. Схема алгоритма процедуры априорного ранжирования факторов: a_{ij} — ранг каждого i -го фактора у j -го эксперта; m — число экспертов; k — число факторов; T — средняя сумма рангов

Если величина коэффициента конкордации существенно отличается от нуля, то между мнениями экспертов имеется существенная связь. Тем не менее эксперты неодинаково ранжируют факторы, найденное значение заметно отличается от единицы. Значимость коэффициента конкордации проверяется по χ^2 -критерию, приняв гипотезу о наличии согласия экспертов, если при заданном числе степеней свободы табличное значение χ^2 -критерия меньше расчетного значения для 5%-го уровня значимости ($\alpha = 0,05$).

Значимость коэффициента конкордации проверяется по формуле

$$\chi^2 = \frac{12s}{mk(k+1) - \frac{1}{k-1} \sum_1^m T_j},$$

где $T_j = \sum (t_j^3 - t_j)$; t_j — число одинаковых рангов в j -м ранжировании.

После оценки согласованности мнений экспертов строится диаграмма рангов. Чем меньше сумма рангов данного фактора, тем выше его место на диаграмме. В случае неравномерного экспоненциального убывания распределения часть факторов исключается из дальнейшего рассмотрения. Если распределение равномерное, то в рассмотрение включают все факторы.

При проведении оценки уровня качества градостроительной среды, с учетом анализа представленных критериев можно определить те критерии и параметры, которые не соответствуют необходимым требованиям и требуют реализации мероприятий, направленных на улучшение уровня качества градостроительной среды и повышение ее социально-экономической привлекательности в дальнейшем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Prospecting the potential of ecosystem restoration. A proposed framework and a case study / M. A. de Silva, A. L. Bortoleto, K. R. Castelli, A. R. de Silva, P. B. Mendes // *Ecological Engineering*. 2017. Vol. 108. Part B. URL: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.024.
2. Rastyapina O. A., Ganzha O. A., Prokopenko V. V. Setting-up of ecological settlements to promote sustainable development of urban areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering The conference proceedings ICCATS-2020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042003.
3. Владимиров С. Н. Влияние урбанизированных территорий на качество жизни // *Научный альманах*. 2017. № 5-3 (31)
4. Cortinovis C., Geneletti B., Hedlun K. Synthesizing multiple ecosystem service assessments for urban planning: a review of approaches, and recommendations // *Landscape and Urban Planning*. 2021. Vol. 213. URL: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104129.
5. Built environment and mortality risk from cardiovascular disease and diabetes in Medellín, Colombia: an ecological study / J. Patinom, A. Hong, J. S. Duque, K. Rahimi, S. Zapata, V. Lopera // *Landscape and Urban Planning*. 2021. Vol. 213. URL: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104126.
6. Benites A. J., Simões A. F. Assessing the urban sustainable development strategy: an application of a smart city services sustainability taxonomy // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 127. URL: doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107734.
7. Spatiotemporal analysis of the coordination of economic development, resource utilization, and environmental quality in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration / H. Han, L. Guo, J. Zhang, K. Zhang, H. Cui // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 127. URL: doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.1077240.
8. Briones-Hidrovo A., Uche J., Martínez-Gracia A. Hydropower and environmental sustainability: a holistic assessment using multiple biophysical indicators // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 127. URL: doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107748.
9. Птичникова Г. А., Антюфеева О. А. Архитектура и город: взгляд через кинематограф // *Социология города*. 2021. № 4. С. 39—51.

10. Плешивцев А. А. Количественные показатели технологичности, отображающие особенности композиционных решений архитектурных объектов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 176—185.
11. 2020 Analysis and assessment of urban planning safety to achieve sustainable development of urban planning environment / O. A. Rastyapina, V. G. Polyakov, V. V. Prokopenko, O. A. Ganzha, T. A. Sabitova // E3S Web of Conferences. URL: doi.org/10.1051/e3sconf/202020804012.
12. Kyriakopoulou E., Pierre M. On the design of sustainable cities: local traffic pollution and urban structure // Journal of Environmental Economics and Management. 2021. Vol. 107.
13. Zhu W., Wang J., Qin B. Quantity or quality? Exploring the association between public open space and mental health in urban China // Landscape and Urban Planning. 2021. Vol. 213. URL: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104128.
14. Vertical greenery buffers against stress: Evidence from psychophysiological responses in virtual reality / S. Hian, M. Chan, L. Qiu, G. Esposito, K. Mai // Landscape and Urban Planning. 2021. Vol. 213. URL: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104127.
15. Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А., Махов И. Д. Экологический подход к выполнению зеленого строительства в условиях Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 220—229.
16. Прокопенко В. В., Ганжа О. А. Разработка методики по определению показателя комфортности городских озелененных территорий и их применение на стадиях градостроительного проектирования // Актуальные проблемы в современной науке и пути их решения : материалы XXV Междунар. конф. 2016. № 4(25). С. 81—87.

© Растяпина О. А., Прокопенко В. В., Ганжа О. А., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Растяпина О. А., Прокопенко В. В., Ганжа О. А. Критерии, определяющие уровень качества городской среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 281—291.

Об авторах:

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; o_kast@list.ru

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; v.v.p_24@mail.ru

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-8648-2535, ganzha_olga@mail.ru

Oksana A. Rastyapina, Vyacheslav V. Prokopenko, Olga A. Ganzha

Volgograd State Technical University

CRITERIA, DETERMINING THE LEVEL OF QUALITY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Creating favorable and high-quality conditions for the life of the urban environment, contribute to increasing its attractiveness and further socio-economic development. In order to form such conditions, it is necessary to analyze the components of the urban environment. Each of the components implies the existence of criteria by which it is possible to assess the quality of the urban environment. The use of a comprehensive indicator of environmental quality will allow using not only a number of environmental and economic indicators that determine the socio-economic status of the territory, but also a number of indicators that determine the characteristics, level of improvement and safety of the territory.

Key words: quality of the urban environment, threats to the favorable development of the urban environment, components of the urban environment, efficiency of the urban environment.

For citation:

Rastyapina O. A., Prokopenko V. V., Ganzha O. A. [Criteria, determining the level of quality of the urban environment]. *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], 2022, iss. 2, pp. 281—291.

About authors:

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; o_kast@list.ru

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.v.p_24@mail.ru

Olga A. Ganzha — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8648-2535, ganzha_olga@mail.ru

УДК 721.01:711.5

М. Р. Степанян, С. А. Матовников

Волгоградский государственный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРИЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В данной статье рассмотрены отличительные особенности современных набережных, определены приемы архитектурно-дизайнерского проектирования для прибрежных территорий. Проведен обзор современных, интересных и ярких примеров благоустройства территорий, прилегающих к воде. Основная цель представленного исследования — выявление основных приемов и тенденций проектирования современных набережных для модернизации городской инфраструктуры и выполнения значимых общественных функций.

К л ю ч е в ы е с л о в а: набережная, благоустройство, городская среда, общественное пространство, архитектурные приемы.

Набережная — это лицо города, она подчеркивает его индивидуальность, создает благоприятные условия для пешеходов. Пространство набережной способно предложить визуальный, звуковой комфорт, стать площадкой для активного и здорового отдыха горожан всех возрастов [1].

Использование рекреационного потенциала прибрежных территорий является одной из актуальных проблем в современных городах. Облик и конфигурация набережных зависят от сложившихся природных и градостроительных условий [2].

Существует комплекс проблем, выявленных в ходе социологического опроса жителей прибрежных городов. Зачастую отсутствуют велосипедные дорожки, не предусмотрены малые архитектурные формы и объекты дизайнерского искусства, что приводит к значительному сокращению жителей, выходящих на прогулку, туристов и отдыхающих. На участках набережных не хватает освещения, отсутствуют общественные зоны отдыха и развлечений, не решена проблема парковочных мест. Вдоль набережных нет удобных спусков к воде, не обустроены ограждения и пешеходные дорожки. В результате эти территории просто выключены из городской жизни, хотя могли бы не только приносить пользу горожанам, но и давать инвестиции в бюджет. В любом городе стоимость недвижимости, имеющей выход к воде, возрастает, так как водное пространство является привлекательным местом [3].

Правильный выбор оформления набережной создаст гармоничное пространство для отдыха. Примером этому является ряд проектов, реализованных в последние несколько лет.

Первый пример — это общественное пространство набережной *Скарборо* в г. Перте в Западной Австралии (рис. 1). Объект, занимающий площадь 9,9 га, был реализован в 2018 г. Живописность этого места сделала его символом и выражением городской пляжной культуры штата Западная Австралия¹. Но проблему создала большая парковка, занимающая прибрежные и пляжные территории.

¹ URL: <https://landezine.com/scarborough-foreshore-redevelopment-by-tcl-and-udla>.

Главная цель проектирования заключалась в уменьшении воздействия дорожной инфраструктуры на пляж и преобразовании в зоны, ориентированные на пешеходную среду.

Функции — прогулочная и зоны отдыха.

Архитектурные приемы:

- разделение на два уровня — многофункциональность;
- два пешеходных променада — удобство и возможность для отдыха вдоль береговой линии;
- использование рельефа как смотровой площадки — впечатляющий вид;
- дизайнерские, концептуальные мафы — уникальность и индивидуальность (рис. 2).



Рис. 1. Набережная Скарборо



Рис. 2. Детская игровая площадка с оборудованием в виде скелетов китов

Набережную Скарборо можно отнести к линейно-осевому типу пространственной организации в связи с ее вытянутостью вдоль береговой линии². Территория набережной гармонично вписывается в городское пространство, отвечает функциональным, социальным и эстетическим запросам различных возрастных групп населения [4].

Проект набережной *Hornsbergs Strandpark* (рис. 3) выполнен архитектурным бюро Nyrens Arkitekt kontor в Стокгольме, Швеция, в 2012 г.³.

Функции — причальная, прогулочная и зоны отдыха.

Архитектурные приемы:

- оснащена тремя плавучими деревянными пирсами — набережная функциональна с берега;
- линейный пешеходный променад — удобство для передвижения вдоль набережной;
- использование ландшафтно-дизайнерского проектирования для разделения пространства на открытые площадки — сохранение озеленения и его увеличение;
- сохранение части исторической набережной — сохранение истории и традиций;
- криволинейная береговая линия — на контрасте четкой линейной планировки жилых районов.



Рис. 3. Набережная Hornsbergs Strandpark, г. Стокгольм, Швеция

Образовался атмосферный, уютный пригород, который резко контрастирует с оживленной городской средой в самом центре Стокгольма⁴.

² URL: <http://www.beach-on-map.ru/scarborough-wa.html>.

³ URL: <https://estatemag.io/hornsbergs-strandpark-oasis-v-gorode>.

Один из отечественных примеров современного проектирования набережной находится в Казани. *Набережная системы озер Кабан* (рис. 4) выполнена архитектурным бюро Turenscape в 2015 г.

Функции — прогулочная, транспортная и зоны отдыха.

Архитектурные приемы:

- разработан световой дизайн — функционирование в ночное время;
- новая схема движения общественного транспорта — доступность набережной со всех зон города;
- высажено большое количество растений, а также специальные фильтрационные растения — сохранение и увеличение озеленения и очищение воды.



Рис. 4. Набережная системы озер Кабан

Часть набережной нижнего озера Кабан благоустроена и пользуется популярностью: здесь можно не только спокойно отдыхать и гулять, но и ловить рыбу, занять детей интересной игрой с водой⁴.

Одним из новых общественных пешеходных пространств, соответствующих современным критериям качества городской среды, является *набережная зодчего Дудина* в Ижевске (рис. 5).

Функции — причальная, прогулочная и зоны отдыха.

Архитектурные приемы:

- оснащена плавучими пирсами — набережная функциональна с берега;
- учитываются климатические особенности Ижевска, предусматривается использование амфитеатра (рис. 6) в теплое время года, а в холодное — городской каток — круглогодичная функциональность территории;
- декоративное мощение в национальном удмуртском узоре — отражение культурного своеобразия;
- зонирование обширной растительностью, характерной для данной местности, — сохранение озеленения и его увеличение;
- использование светового дизайна — концентрирует внимание на достопримечательностях (Ижевском оружейном заводе, ансамбле купеческих зданий ул. Горького, музее «Дом Пастухова»).

⁴ URL: <https://www.archdaily.com/301967/hornsbergs-strandpark-nyrens-arkitektkontor>.

⁵ URL: <https://archi.ru/projects/russia/10482/razvitie-i-blagoustroistvo-naberezhnykh-sistemy-ozera-kaban>.



Рис. 5. Набережная зодчего Дудина в Ижевске

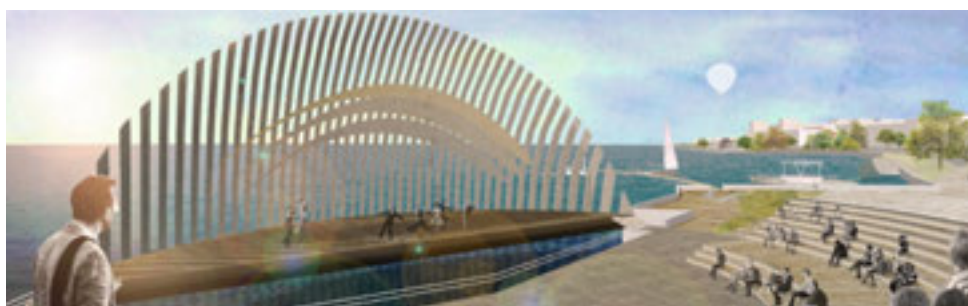


Рис. 6. Набережная зодчего Дудина в Ижевске. Амфитеатр

Создается общественное пространство, обеспечивающее пешеходную связь с существующими городскими значимыми пространствами (Центральная площадь и спуск к монументу «Дружбы Народов», ул. Максима Горького, парк им. Кирова), которая, в свою очередь, обеспечивает современный уровень качества городской среды, ее функциональное разнообразие, комфорт и безопасность⁶.

Chicago Riverwalk (рис. 7) — это многофункциональное общественное пространство, расположенное на южном берегу главного ответвления реки Чикаго, простирающееся от Лейк-Шор-Драйв и озера Мичиган до Лейк-стрит⁷.

Функция — причальная, прогулочная и зоны отдыха.

Архитектурные приемы:

- оснащена причалами — набережная функциональна с берега;
- оснащена перилами для маломобильных групп населения — функционально для всех групп населения;
- используется LED-подсветка по пешеходной многоуровневой тропе (рис. 8) — удобство передвижение в ночное время;

⁶ URL: <http://tehne.com/event/koncepty/ab-emec-i-chopalavov-koncepciya-blagoustroystva-naberezhnoy-zodchego-dudina-v-izhevske>.

⁷ URL: https://www.chicago.gov/city/en/depts/cdot/supp_info/chicago_riverwalk.html.

- обустроено открытое солнечное место (пляж) — тесная связь с рекой;
- дизайнерские сидения с высокой спинкой из тика — уникальность и индивидуальность.



Рис. 7. Chicago Riverwalk



Рис. 8. Chicago Riverwalk. LED-подсветка

Проект является центром притяжения для горожан и туристов. Все составные части проекта соединены между собой и образуют единое пешеходное пространство из дизайнерских решений⁸.

Проект речной набережной Жанжиганг (рис. 9) осуществлен в Китае фирмой Botao Landscape. Данная территория стала сердцем некогда местности с плохой экологией, ведь до реконструкции в реку сливались отходы⁹.

Функции — транспортная, прогулочная и зоны отдыха.

Архитектурные приемы:

- террасированный спуск к импровизированной сцене — функция открытой концертной площадки;
- транзитная зона в виде двух мостов — удобство передвижения;

⁸ URL: <https://www.archdaily.com/780307/chicago-riverwalk-chicago-department-of-transportation-plus-ross-barney-architects-plus-sasaki-associates-plus-jacobs-ryan-associates-plus-alfred-benesch-and-company>.

⁹ URL: <https://www.goood.cn/zhangjiagang-town-river-botao.htm>.

- обеспечение контроля загрязнения и восстановления природной экосистемы реки — улучшение инфраструктуры всего региона;
- городская стена, изогнутые полосы из дерева и гранита — современный дизайн.

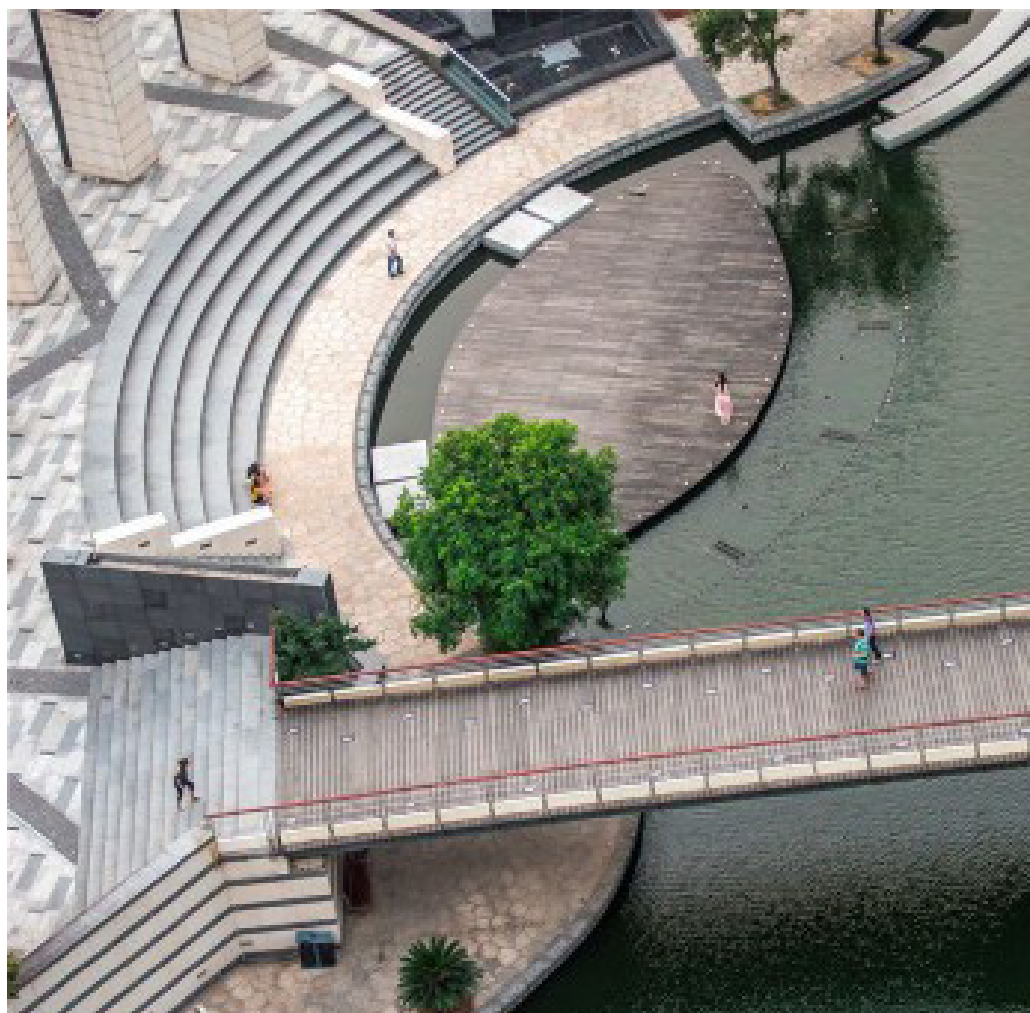


Рис. 9. Набережная Жанжиганг, Китай

The Town River было превращено в место с приятной обстановкой и хорошей экологией, где местные жители могут отдохнуть и пообщаться друг с другом¹⁰.

Рассмотрев зарубежный и отечественный опыт проектирования набережных, можно сделать вывод, что для придания общественному пространству индивидуальности, а также создания комфортного, безопасного и интересного места отдыха применяются следующие композиционные приемы архитектурного дизайна [5].

¹⁰ URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/rekonstrukciya-naberezhnoj-v-kitae>.

Мощения пешеходных зон набережных значительно облагораживают архитектурное пространство. Степень эстетического восприятия повышает применение в покрытии материалов природного происхождения, форма и пластика которых являются важной частью благоустройства пространства.

Малые архитектурные формы, подчиненные определенному стилю, являются единым целым с композицией всей набережной.

Элементы светового дизайна подчеркивают архитектурно-планировочную композицию и позволяют функционировать в ночное время.

Ландшафтный дизайн и озеленение территории набережной играют главную роль в оформлении пространства и поддерживают экологическое равновесие.

Сходы к воде, причалы и парапеты придают набережным живописное своеобразие, дополняют архитектурное пространство и позволяют функционировать с берега.

В зависимости от функции городские набережные делятся на несколько видов: прогулочные, транспортные, причальные и набережные зон отдыха.

Современная набережная — это всегда комплексный подход по организации общественного пространства, объединяющий в себе множество различных аспектов, требующий присутствия целого ряда специалистов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матовников С. А., Матовникова Н. Г. Innovative Urban Planning Methods for the Urban Landscape Design in the Volgograd Agglomeration // Procedia Engineering. Vol. 150. 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / Ed. by A. A. Radionov. Elsevier publishing, 2016. Pp. 1966—1971.
2. Матовников С. А., Казмина А. В. Зарубежный и отечественный опыт и тенденции в проектировании прибрежных территорий // Центральный науч. вестн. 2017. Т. 2. № 24(41). С. 70—72.
3. Васильева В. Р. Роль организации пространства прибрежных территорий, ее принципы и тенденции в современном обществе // Символ науки: междунар. науч. журн. 2017. Т. 3. № 4. С. 151—153.
4. Сафонова О. М., Тазина С. В. Композиционный анализ современного городского пространства на примере набережной в Скарборо в Западной Австралии // Вестн. ландшафт. архитектуры. 2020. № 21. С. 71—73.
5. Матовников С. А., Казмина А. В. Концепция комплексного благоустройства набережной им. В. Высоцкого в Кировском районе г. Волгограда // Центральный науч. вестн. 2018. Т. 3. № 11(52). С. 48—50.

© Степанян М. Р., Матовников С. А., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Степанян М. Р., Матовников С. А. Современные архитектурные приемы формирования прибрежных территорий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 292—300.

Об авторах:

Степанян Мери Рустамовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; meri7753@yandex.ru

Матовников Сергей Алексеевич — канд. архитектуры, проф., зав. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikov4@yandex.ru

Meri R. Stepanyan, Sergei A. Matovnikov

Volgograd State Technical University

MODERN ARCHITECTURAL TECHNIQUES FOR THE FORMATION OF COASTAL TERRITORIES

This article discusses the distinctive features of modern embankments, defines the methods of architectural and design of coastal zones. Overview of modern, interesting and vivid examples of landscaping areas adjacent to the water. The main purpose of the presented research is to identify the main techniques and trends in the design of modern embankments for the modernization of urban infrastructure and the performance of significant public functions.

Key words: embankment, landscaping, urban environment, public space, architectural methods.

For citation:

Stepanyan M. R., Matovnikov S. A. [Modern architectural techniques for the formation of coastal territories]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 2, pp. 292—300.

About authors:

Meri R. Stepanyan — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; meri7753@yandex.ru

Sergei A. Matovnikov — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikov4@yandex.ru

УДК 728.1.012.1

Н. В. Иванова, В. В. Романова

Волгоградский государственный технический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ КОРОНАВИРУСА

Статья посвящена изучению современного направления проектирования новых типов жилой среды во время пандемии. Представлен анализ опыта архитектурного проектирования, определен комплекс факторов, влияющих на формирование комфортной жилой среды. Проведен экспресс-опрос студентов ВолГТУ и выявлены архитектурно-дизайнерские условия организации комфортного жилья для постоянного использования и работы. Проведено экспериментальное проектирование среднеэтажного жилого дома с учетом выявленных потребностей.

Ключевые слова: пандемия коронавируса, архитектурное проектирование, самоизоляция, жилое пространство, планировка, комфортное жилье, адаптивность.

Во все времена люди стремились улучшить комфортность жизнедеятельности и качества жилья с учетом изменяющихся факторов и потребностей. Еще несколько лет назад жители городов проводили большую часть своего времени на рабочих местах, имели возможность отдыхать в общественных пространствах (парк, кафе, кинотеатр и др.). Однако пандемия коронавируса, карантинные меры изменили привычный уклад жизни, заставив население изолироваться в домах. Изменилось представление о видах использования жилого пространства (трудовая деятельность, учеба, хобби, спортивно-оздоровительные тренировки и др.). Самоизоляция выявила недостатки объемно-планировочных и функциональных качеств стандартного жилья. Возникла потребность в улучшении таких качеств квартир, как эргономичность, комфорт и безопасность [1—3].

Перед урбанистами, архитекторами и дизайнерами стоит задача поиска новых и модернизации существующих типов жилья, трансформирующихся под интересы жителя [4, 5].

Цель данной работы — изучение возникших в условиях самоизоляции предпочтений в организации типов жилого пространства, переосмысление концепции жилья с точки зрения архитектуры и дизайна.

Задачи работы:

- изучить литературные источники и практические наработки для определения факторов пандемии коронавируса, влияющих на проектирование жилья с позиций градостроительства, архитектуры и дизайна;
- исследовать изменившиеся в связи с пандемией потребности горожан и выявить тенденции в проектировании жилого пространства;
- рассмотреть новые аспекты проектирования современных типов комфортного жилья;
- провести экспериментальное проектирование многофункционального жилья с учетом выявленных предпочтений, удовлетворяющих требованиям комфорта и безопасности для Волгограда.

Актуальность выбранной тематики исследования обусловлена изменениями в социальной сфере в связи с пандемией, высокими темпами жилищного

строительства в регионе, возрастающей ролью городов в развитии экономики и общества, повышением требований к качественным характеристикам жилья.

Вопрос изучения изменения тенденций жилья в связи с самоизоляцией обсуждается учеными и проектировщиками разных стран мира. В связи с кризисной ситуацией, вызванной пандемией COVID-19, возникла необходимость в проведении новых исследований в области архитектуры и смежных с ней дисциплин.

Теоретическая база работы. При написании работы были изучены публикации и исследования в направлениях медицины, социологии, градостроительства, урбанистики, теории архитектуры и дизайна.

В области медицины рассматривались особенности эпидемических процессов [6, 7], мероприятия по предотвращению и распространению заболеваний [8], а также влияние самоизоляции и карантинных мер на психическое, физическое и эмоциональное состояние и здоровье человека [9]. Определялась важность формирования озелененной окружающей среды и воздействия насаждений на процесс оздоровления населения [10, 11].

Теоретической базой работы стали социологические исследования и публикации ученых, направленные на изучение особенностей жилья для комфортного проживания во время пандемии¹ [12—21].

В области градостроительства и урбанистики были рассмотрены проблемы городского планирования, возникшие в период пандемии, новые подходы к городскому развитию жилых территорий, такие как снижение плотности застройки, пространственная изоляция, формирование «зеленой структуры» города, развитие пешеходных пространств [22—24]. Кроме того, были изучены особенности адаптивного городского пространства как эффективно-го средства поддержания устойчивости урбанизированной среды [25].

Были затронуты аспекты, связанные с ускоренной цифровизацией во время самоизоляции и дальнейшими перспективами развития современных технологий в постпандемийный период [26, 27].

Большое внимание уделялось исследованиям архитекторов и дизайнеров по выявлению недостатков жилых пространств и определению возможных путей решения нового городского жилья² [28—32].

На основе изучения теоретических исследований и практических работ были выделены новые тенденции в проектировании жилых пространств и разработана модель многофункционального жилья.

Аспекты комфортного жилья в пандемию. Эпидемии на протяжении всей истории человечества являются основной причиной массовой смертности. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно от инфекционных заболеваний погибает около 17 млн чел. [2, 6, 7]. Возбудителем COVID-19 является вирус SARS-CoV-2, который распространяется в основном между людьми, находящимися в тесном контакте друг с другом, при вдыхании вирусных аэрозольных частиц или их прямом попадании на слизи-

¹ Более половины россиян предпочитают работать в офисе. URL: <https://дом.рф/media/news/dom-rf-bolee-poloviny-rossiyan-predpochitayut-rabotat-v-ofise>.

Дистанционная работа и жилищные условия россиян. Социологический опрос российских семей. URL: <https://дом.рф/upload/iblock/5cc/5ccd84f9c2de6b0069b357a98fd69dd8.pdf>.

² Кухня вместо кабинета, гостиная вместо городских развлечений. Как пандемия отразится на жилье? URL: <https://www.nakanune.ru/articles/116808>.

стые части организма. Распространение вируса происходит также в плохо вентилируемых и (или) переполненных помещениях. Кроме того, вирусное инфицирование возможно в случае прикосновения к зараженным поверхностям с последующим касанием глаз, носа или рта без предварительной очистки рук³. Как правило, во время лечения эпидемии, затрагивающей социальные, культурные и экономические сферы общества, наиболее эффективной мерой для предотвращения распространения болезни является карантин и самоизоляция [2, 4, 32].

В связи с распространением коронавируса и самоизоляцией становится актуальным вопрос трансформации урбанизированной среды с грамотно спроектированными парками, местами отдыха, обеспечивающими социальные дистанции и другие меры по снижению распространения инфекции. Парки могут стать одним из инструментов психологической разгрузки, социализации, физического развития жителей города в период пандемии [2, 3, 5, 22, 25].

Особенно остро пандемия сказалась на тенденции к проектированию и строительству высотного жилья, приоритетного в реализации программы реновации жилья в России. Увеличение плотности потоков людей приведет к повышенному риску заражения инфекционным заболеванием. С градостроительной точки зрения проектирование и строительство малоэтажной и среднеэтажной застройки снижает риск заражения населения (рис. 1)⁴ [31]. Кроме того, малоэтажные и среднеэтажные жилые дома считаются наиболее гуманной формой организации жилища и отлично вписываются в городскую среду⁵ [22, 30].

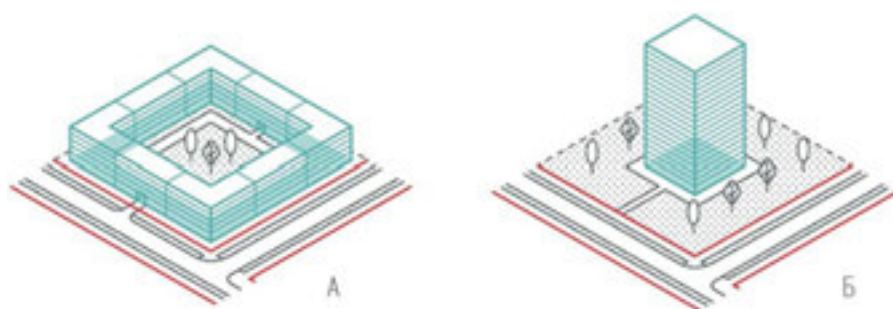


Рис. 1. Распространение вируса в зависимости от типа жилой застройки при одинаковой площади жилого участка и плотности застройки: а — 40 квартир в одном подъезде, 100 соседей может заразить 100 человек; б — 144 квартиры в одном подъезде, 360 соседей может заразить один человек (КБ «Стрелка»⁶)

³ Коронавирусная болезнь (COVID-19): как она передается? URL: <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>.

⁴ Кухня вместо кабинета, гостиная вместо городских развлечений. Как пандемия отразится на жилье? URL: <https://www.nakanune.ru/articles/116808>.

⁵ Какие недостатки жилья выявила самоизоляция и как их исправить. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/nedostatki-zhilya-issledovanie-kb-strelka>.

Кухня вместо кабинета, гостиная вместо городских развлечений. Как пандемия отразится на жилье? URL: <https://www.nakanune.ru/articles/116808>.

⁶ Какие недостатки жилья выявила самоизоляция и как их исправить. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/nedostatki-zhilya-issledovanie-kb-strelka>.

Надо отметить, что некоторые типы жилья не отвечают санитарным и экологическим требованиям и условиям проживания в пандемию (социальная дистанция, изолированность помещений) [32]. Поэтому перед архитекторами стоит задача создавать новые проекты жилых зданий с учетом самоизоляции и улучшать качества существующего жилого фонда [5].

Новым направлением в понятии комфортности жилья в период ограничений стало активное вовлечение населения в цифровой, виртуальный мир. Благодаря современным технологиям некоторые виды деятельности перешли в дистанционный формат [24, 26]. Организация учебных занятий, рабочих встреч, развлекательных мероприятий дистанционно создали условия необходимости внесения изменений в жилое пространство.

Понятие комфортного жилья охватывает две приоритетные характеристики: количественную (размер участка застройки, площади, количество комнат, количество машино-мест, температура, освещенность и т. д.) и качественные (художественно-эстетическая ценность жилья, благоустройство территории, удобство организации рабочего пространства и места отдыха, экологические особенности, эргономика, функциональное зонирование и т. д.) [9, 28]. При модернизации существующего жилого пространства необходимо, чтобы его качественные характеристики соответствовали современным требованиям пользователей. Также важно спроектировать жилье таким образом, чтобы оно легко и гибко адаптировалось под последующие изменения предпочтений жителей ⁷ [4, 25, 27, 32—34].

Опыт проектирования. Британским архитектурным бюро The Manser Practice был разработан проект отеля, адаптированного под коронавирусные ограничения⁸. Жилые номера имеют большое пространство для занятия спортом, встроенное рабочее пространство, бесконтактный доступ к номерам через буферные зоны (рис. 2).

С целью создания комфортного многофункционального жилья австралийское архитектурное бюро Woods Bagot разработало модульную систему AD-APT, которая представляет собой систему из регулируемых стен и экранов для разделения квартиры со свободной планировкой в зависимости от сценария использования и времени суток (рис. 3)⁹. Один из вариантов предполагает постоянное проживание молодой семьи из трех человек и создание рабочего пространства для каждого члена семьи. При этом рабочие места достаточно изолированы для сосредоточенной работы или обучения.

Молодые архитекторы из Печского университета (Венгрия) создали дизайн эргономичной мебели, которая преобразовывает внутреннее жилое пространство в рабочее (рис. 4) [35].

Благодаря мобильности и небольшому весу такая мебель трансформируется в зависимости от потребностей пользователя. В результате человек может работать сидя в рабочем кресле или стоя. Модель мебели сделана из экологических материалов, достаточно проста в сборке и включает в себя различные компоненты, детали и узлы, например колесики для простоты передвижения и полки (рис. 5).

⁷ Там же.

⁸ The Manser Practice envisions the post-pandemic hotel.
URL: <https://www.dezeen.com/2020/05/21/post-pandemic-hotel-manser-practice>.

⁹ AD-APT: How will buildings adapt to the new realities of home?
URL: <https://www.woodsbagot.com/journal/ad-apt-how-will-buildings-adapt-to-the-new-realities-of-home-as>.



Рис. 2. Жилая ячейка с пространством для упражнений и зоной доставки¹⁰



Рис. 3. Использование модульной системы AD-АПТ в квартире со свободной планировкой. Архитектурное бюро Woods Bagot¹¹

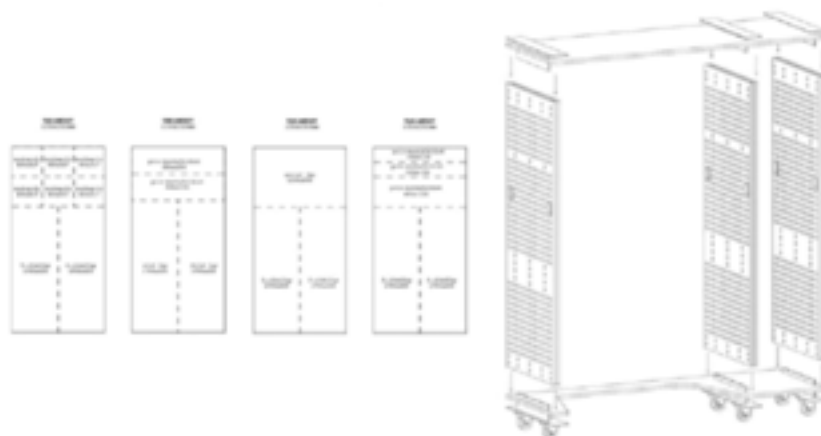


Рис. 4. Мобильное рабочее пространство для дома [35]

¹⁰ The Manser Practice envisions the post-pandemic hotel.
 URL: <https://www.dezeen.com/2020/05/21/post-pandemic-hotel-manser-practice>.

¹¹ AD-APT: How will buildings adapt to the new realities of home?
 URL: <https://www.woodsbagot.com/journal/ad-apt-how-will-buildings-adapt-to-the-new-realities-of-home-as>.



Рис. 5. Адаптивность мебели в зависимости от потребностей пользователя [35]

Исследования. ВЦИОМ совместно с «Дом.РФ» в декабре 2021 г. провел социологический опрос среди 1,6 тыс. граждан старше 18 лет с целью оценки их жилищных условий в рамках дистанционной работы. Согласно опросу, около 53 % россиян, работающих удаленно, считают свое жилье подходящим для такого формата. Среди основных причин непригодности жилья для дистанционной работы были выявлены отсутствие специально оборудованного места (61 %) и невозможность сосредоточиться, поскольку присутствуют отвлекающие факторы (35 %)¹², что говорит о плохой изолированности жилых помещений и рабочей зоны¹².

В рамках изучения возникших в условиях самоизоляции предпочтений в организации жилого пространства и тенденций проектирования молодыми исследователями был проведен социологический опрос [12]. Респондентов попросили выделить основные критерии для потенциального выбора квартиры. Наиболее популярными критериями оказались развитость инфраструктуры (79,3 %), озеленение территории (72,9 %), шумоизоляция помещений (65,7 %), видовые характеристики (53,6 %) и экологичность района (51,4 %).

Было выявлено, что почти 53 % опрошенных только сейчас обратили внимание на неудобства своего жилого пространства (изолированность помещений, нехватка озеленения, плохая шумоизоляция, невыразительные видовые характеристики жилого пространства). Респонденты заявили, что хотели бы иметь личный кабинет (41 %), 32,9 % — помещение для занятия спортом, 61 % молодежи — иметь больше растений.

Важными явились конструктивно-планировочные пожелания по обеспечению высокого уровня шумоизоляции и свободной планировки. Объемно-композиционными решениями стали: многофункциональное оснащение жилого комплекса и улучшение видовых характеристик жилья, зонирование пространства, по дизайну — применение модульных систем хранения [12].

Для более детального изучения основных тенденций в создании современного жилого пространства был проведен экспресс-опрос среди студентов ИАиС ВолгГТУ, 2021—2022 гг. На вопросы ответило более 50 человек, из них около 47 % удовлетворены пригодностью своего жилья для удаленной работы и обучения; более 35 % опрошенных вынуждены были менять обустройство жилого пространства во время пандемии.

¹² Более половины россиян предпочитают работать в офисе. URL: <https://дом.рф/media/news/dom-rf-bolee-poloviny-rossiyan-predpochitayut-rabotat-v-ofise>.

Дистанционная работа и жилищные условия россиян. Социологический опрос российских семей. URL: <https://дом.рф/upload/iblock/5cc/5ccd84f9c2de6b0069b357a98fd69dd8.pdf>.

В ответах было отмечено, что основные изменения касались входной части квартиры (прихожей): внедрение компактной закрытой системы хранения (43,8 %), увеличение пространства (31,3 %), создание «грязной зоны» (31,3 %), добавление растений и озеленения (25 %). В зоне дневного пребывания (обеденной зоне и кухне) большинство респондентов нуждаются в участках обработки (или стерилизации) продуктов (58,8 %) и компактной системе хранения продуктов (52,9 %).

В обустройстве общей комнаты опрошенные отметили необходимость выделения зоны для хобби (58,8 %), потребность в дополнительном искусственном освещении (35,3 %), растениях (29,4 %), улучшении дизайна, декора (29,4 %).

В ночной зоне (спальной комнате) респонденты предлагали расширить существующее рабочее пространство (58,8 %), обустроить модульную систему хранения (41,2 %), добавить растений (35,3 %) и декор (35,3 %).

В санитарной зоне (ванной, туалете) молодые люди отметили необходимость в создании зоны для грязных вещей (64,7 %), внедрении модульной системы хранения (58,8 %).

Большинство молодых людей отметили, что хотели бы иметь зону отдыха (лоджия, балкон) (75 %), добавить мини-огород на подоконнике (43,8 %); зоны хранения (25 %), добавить зоны для хобби (31,3 %).

Большинство респондентов посчитали, что их жилье нуждается в совершенствовании защиты от шума (64,7 %), грамотном функциональном зонировании (52,9 %), улучшении отделки помещений (35,3 %) и создании изолированного от отвлекающих факторов пространства (35,3 %).

Анализ данных опросов помог выяснить возникшие в настоящее время новые потребности у жителей:

- грамотное зонирование жилья с учетом возможности многофункционального использования пространства;
- создание удобного, изолированного рабочего пространства;
- улучшение шумоизоляции в квартире;
- улучшение видовых характеристик жилья, обустройство лоджий;
- применение компактных модульных систем, внедрение озеленения в интерьер и окружающее дворовое пространство;
- использование архитектурных приемов, направленных на защиту физического и эмоционального здоровья жителей.

В экологической психологии существует такое направление, как «восстановительный экологический дизайн» (Restorative environmental design, RED) [13, 14], согласно которому окружающая нас урбанизированная среда может помочь людям восстановить и укрепить стрессоустойчивость, восполнить внутренние ресурсы, ведь при отсутствии направленного внимания и сосредоточенности человек становится отвлекаемым, что приводит к нарушению восприятия информации, утомляемости и раздражительности [14].

Как отмечают специалисты, городское жилье с высокой плотностью населения редко выполняет восстановительную функцию, а пересмотр некоторых параметров качества жизни поможет жилью стать средой, улучшающей благополучие, психическое и физическое здоровье населения [13]. Так, период самоизоляции показал важность озеленения в архитектуре. В связи

с ограничениями передвижений перед архитекторами возникла задача создания зеленого пространства в интерьере дома и проектирования вертикального озеленения. Согласно исследованиям, большое число зеленых насаждений в среде обитания человека положительно сказывается на психическом и физическом состоянии здоровья [3, 5, 13, 14, 22, 23]. Некоторые авторы подчеркивают, что вид природы и озелененных пространств из окна здания может благотворно сказываться на снижении стресса и даже способствовать ускорению процесса выздоровления [10, 11]. Кроме того, использование озеленения на балконе и лоджии позволяет защитить жилое пространство от перегрева летом [13, 28].

В период ограничения передвижения ценность видовых характеристик квартиры приобретает большое значение для жителей. К. Теннессен и Б. Кимприч провели исследование, в котором изучали влияние естественного вида из окон общежития колледжа. Результаты работы показали, что студенты с естественным видом из окна в комнате значительно лучше справлялись с тестами на внимание, чем студенты с искусственным видом из окна. Наблюдаемые различия в показателях сосредоточенности не были связаны с возрастом, полом или годом обучения [14, 15].

Кроме того, согласно исследованиям [16, 17], при отсутствии естественного вида из окна его можно компенсировать за счет добавления в жилое пространство объектов или изображений естественной среды. В то время когда в большинстве многоквартирных домов недостаточно зеленых насаждений на территории, балконы и лоджии могут быть использованы как альтернатива природной среде.

Улучшения реабилитационных функций квартиры при проектировании жилья можно добиться за счет размещения балконов и лоджий, создания гармоничного, естественного вида из окна, увеличения показателей естественного освещения в помещениях [13].

Недавние исследования показывают, что степень удовлетворенности жителей показателями естественного освещения зависит от функционального назначения помещения. Так, хорошими показателями освещенности для жителей южной климатической зоны считаются 150 люкс в гостиных, 175 люкс на кухне и 200 люкс в спальнях [18]. Однако следует отказаться от использования панорамных окон, поскольку увеличение соотношения окон по сравнению со стенами приводит к созданию дискомфортного микроклимата помещений и проблемам со здоровьем жителей [19].

Важную роль в создании комфортного жилья играет поддержание биологических ритмов человека. В связи с карантинными ограничениями и режимом самоизоляции изменился распорядок дня. Постоянный стресс и тревога повлияли на качество сна человека. Исследования воздействия освещения в жилых помещениях доказывают, что высокая суточная доза света способствует улучшению качества сна, поддержанию биологических ритмов человека [20]. Стоит отметить, что спальни должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить хорошую освещенность днем и при этом окна можно было закрывать в темное время суток.

Увеличение площади оконных проемов способствует улучшению видовых характеристик жилого пространства, а также способствует использованию естественного освещения для защиты от воздействия вирусов [5, 8].

Увеличить площадь светового проема можно за счет использования окон с тонкими профилями.

Однако, кроме хороших видовых характеристик, для жителей важно чувство безопасности и уединения в своем доме. Согласно «теории убежища», люди предпочитают места, в которых можно наблюдать за другими людьми и при этом быть незамеченными [13].

Чтобы гармонично объединить предпочтения в открытом к окружению пространстве и приватности, в проектировании жилья рекомендуется создание полуприватных зон, таких как балконы и лоджии, внедрение в архитектуру затемняющих экранов и жалюзи.

Согласно исследованиям ученых, открытые балконы приводят к улучшению микроклимата квартиры, визуального и акустического комфорта, а застекленные балконы, напротив, часто приводят к проблемам с перегревом, способствуют снижению скорости проникновения воздуха и ухудшению условий дневного освещения [21]. Таким образом, при проектировании закрытых балконов следует учитывать климатические характеристики региона проектирования.

Цветовое решение интерьера является одним из основных инструментов, благодаря которому архитектор может направить или предопределить реакцию человека на цвет. Благодаря грамотно подобранному цвету в интерьере появляется возможность управлять зрительными ощущениями архитектурной формы и создавать комфортное жилое пространство. Поэтому при обустройстве своего жилого пространства необходимо ориентироваться на свое восприятие того или иного цвета [21].

В дизайне архитектурной среды важным является лечебное воздействие цвета на организм человека — хромотерапия. Согласно экспериментам, оказалось, что теплые цвета обладают тонизирующим эффектом, повышают работоспособность; холодные оттенки в интерьере обладают успокаивающим эффектом, позволяют снять напряжение и помогают сохранять работоспособность. Зеленые оттенки положительно влияют на организм, меньше всего оказывают утомляющее воздействие на глаза, позволяют расслабиться. Серые, белые и бежевые цвета наименьшим образом воздействуют на человека [29, 36, 37].

Рекомендации по проектированию. Изучив перспективы модернизации жилья во время и после пандемии, были определены практические стратегии для внедрения концепции «восстановительного экологического дизайна» в жилое пространство с целью улучшить качество жизни горожан. Рекомендации были составлены на основе изучения теоретической литературы, анализа проектной практики и проведенных опросов (табл.).

Предложенные рекомендации по проектированию жилья в пандемию связаны с реализацией таких социальных функций, как сохранение и поддержание здоровья, создание психологического комфорта, организация вне рабочего времени и др. Важно отметить, что многие аспекты проектирования комфортного жилья и рекомендации по проектированию, в отличие от СП и другой нормативно-правовой документации, не являются столь жесткими, поэтому возникает потребность в закреплении данных потребностей федеральными законами и подзаконными актами [38].

Рекомендации по проектированию комфортного жилья

Аспект проектирования комфортного жилья	Основные нормативные документы	Рекомендации
Сочетание приватности и открытости жилого пространства	СП 54.13330.2016, ГОСТ 33125-2014, ГОСТ Р 56926-2016 и др.	Конструкции окон и балконов, обеспечивающих хорошие видовые характеристики. Использование наружных экранов и жалюзи с целью создания приватности
Функциональное зонирование	СП 54.13330.2016, СП 73.13330.2016 и др.	Проектирование квартир со свободной планировкой с целью создания многофункционального пространства в зависимости от сценария использования. Использование компактных модульных систем. Использование трансформирующихся перегородок в планировке для обеспечения изолированности. Создание грязной зоны в прихожей с закрытой системой хранения верхней одежды. Создание зон стерилизации на кухне и в прихожей. Создание рабочего пространства с минимальной площадью 3 м ²
Шумоизоляция помещений	СП 54.13330.2016, СП 71.13330.2017 и др.	Использование звукоизоляционных материалов (минеральная вата, стекловата, а также многослойные панели ЗИПС и т. д.)
Поддержание биологических ритмов жителей	СП 54.13330.2016, СП 52.13330.2016 и др.	Степень естественной освещенности помещений днем около 200 люкс. Установка оконных блоков с тонкими профилями
Охрана здоровья и микроклимат помещений	СП 54.13330.2016, СП 60.13330.2016, СП 230.1325800.2015, СП 50.13330.2012, СП 60.13330.2016, СП 345.1325800.2017, СанПиНы и др.	Отказ от панорамных окон. Конструкции открытых балконов и лоджий
Связь с природой	СП 54.13330.2016, СП 71.13330.2017, ГОСТ 33125-2014, ГОСТ Р 56926-2016 и др.	Конструкции балконов и лоджий. Использование озеленения в интерьере, создание мини-огорода. Использование декора и изображений естественной среды. Использование натуральных цветов в отделке интерьера. Создание зоны отдыха на лоджии/балконе

Предложения по формированию микроклиматического комфорта в жилье необходимо рассматривать совместно с решением проблем энергосбережения и энергоэффективности жилых зданий, конструкций и материалов, а также с учетом внедрения инновационных проектных решений и зеленых стандартов [39—41].

Модель комфортного жилья. Исходя из предложенных рекомендаций по проектированию жилых зданий, была разработана модель комфортного жилья с учетом предпочтений и тенденций в организации жилого пространства (рис. 6 и 7).



Рис. 6. Проект жилого дома средней этажности, автор — В. В. Романова, 2022 г.
 План типового этажа дома



Рис. 7. Проект жилого дома средней этажности, автор — В. В. Романова, 2022 г.:
 а — фасад в осях 1—6; б — объемная визуализация; в — планировка трехкомнатной квартиры в жилом доме

Среди основных конструктивных особенностей спроектированного жилого дома — конструкции лоджий, балконов (в том числе «французских»), оконные блоки с узкими профилями для улучшения характеристик инсоляции. Для защиты от перегрева на лоджиях установлены реечные светопропускающие перегородки. Открытые лоджии и балконы улучшают естественный воздухообмен в помещениях, что очень важно для профилактики инфекционных заболеваний.

Каркасно-балочная конструктивная система жилого дома способствует созданию гибкой планировки жилья. Среди основных планировочных особенностей квартиры — создание выделенной «грязной зоны» в прихожей, которая за счет складной перегородки служит буфером при необходимости получения доставки товаров на дом с целью предотвращения распространения инфекции. Для комфортной работы удаленно рабочее пространство было увеличено, минимальная длина стола составляет 2 м. Предусмотрена зона для занятия спортом, а также озелененная зона отдыха на лоджии.

Заключение. Изучение и анализ технической, нормативной литературы, исследований и публикаций зарубежных и отечественных ученых показал, что организация новых типов жилья — важная и актуальная задача для проектировщиков, архитекторов и дизайнеров. Пандемии и режим самоизоляции выявили слабые, некомфортные участки жилых пространств, что позволило по-новому взглянуть на типологию зданий и проектируемую городскую среду, требующую улучшения [4].

Дальнейшее развитие получают проекты создания многофункциональной жилой среды, к которым относятся современные типы жилья с гибкой планировкой, необходимой для удовлетворения потребностей жителей (за счет перегородок, многофункционального использования пространства)¹³ [9, 35, 42]. Пандемия показала необходимость изменить подход к проектированию жилой среды, при котором архитектура могла бы легко адаптироваться в случае будущих глобальных кризисов.

Выводы

1. На основании изучения нормативно-справочной литературы, результатов практической исследовательской деятельности были определены основные особенности передачи коронавирусной инфекции, которые влияют на проектирование жилых зданий, и обоснованы основные меры по их предотвращению: создание качественной вентиляции, увеличение площади помещений с целью нераспространения вируса.

2. Проведен опрос более 50 студентов ИАиС ВолгГТУ (Волгоград, 2021—2022 гг.). Среди важных качеств комфортного жилья респонденты отметили грамотно спроектированное многофункциональное пространство, изолированную и просторную рабочую зону, хорошую шумоизоляцию и пр.

3. В ходе изучения были выявлены некоторые проблемы текущего состояния жилого пространства: непродуманное функциональное зонирование, слабые видовые и шумоизоляционные характеристики, нехватка естественного освещения, озеленения в интерьере, плохой микроклимат помещений. Результатами, полученными в ходе исследования, являются рекомендации по

¹³ The Manser Practice envisions the post-pandemic hotel.
URL: <https://www.dezeen.com/2020/05/21/post-pandemic-hotel-manser-practice>.

проектированию для улучшения качества многоквартирного жилья во время и после пандемии: сочетание приватности и открытости жилого пространства, конструктивные, архитектурные и дизайнерские приемы для поддержания биологических ритмов и здоровья жителей, сохранения связи с природой. Рекомендации по преобразованию жилых пространств были соотнесены с текущей нормативной российской документацией по проектированию жилых зданий.

4. Было проведено экспериментальное проектирование по созданию проекта жилого дома средней этажности для Волгограда, с учетом выявленных аспектов проектирования комфортного жилого пространства. Зонирование, обустройство и изолирование рабочего пространства, внедрение озеленения в интерьер, использование компактных модульных систем и современных элементов декора жилых помещений помогут качественно улучшить жилое пространство, укрепить эмоциональное и физическое здоровье пользователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Растяпина О. А., Поляков В. Г., Новокиценова Я. Д., Чебанова С. А.* Градостроительные мероприятия урбанизированной среды, способствующие снижению распространения вирусных заболеваний в условиях пандемии // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура.* 2021. Вып. 4(85). С. 243—251.
2. *Yaman G. Ö., Erturan E. M., Ateş A. Y.* Changes in apartment and site type houses during COVID-19 pandemic // *ICONARP International Journal of Architecture and Planning.* 2021. Vol. 9. No. 2. Pp. 584—610.
3. *Иванова Н. В., Брехов Е. М.* Особенности развития архитектуры городов после пандемии коронавируса // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура.* 2021. Вып. 2(83). С. 190—198.
4. *Erdoğan S. K., Birinci N., Birol G.* Housing approaches after the global crisis: the pandemic and the house of the future // *IDU SPAD'20 International Spatial Planning and Design Symposium.* 2020. Pp. 105—119.
5. *Есаулов Г. В.* Городская среда: тенденции трансформации времени пандемии // *Academia. Архитектура и строительство.* 2021. № 1. С. 5—12.
6. *Полибин Р. В., Миндлина А. Я., Герасимов А. А., Брико Н. И.* Сравнительный анализ смертности от инфекционных болезней в Российской Федерации и некоторых странах Европы // *Эпидемиология и вакцинопрофилактика.* 2017. Т. 16. № 3(94). С. 4—10.
7. *Брико Н. И., Миндлина А. Я., Полибин Р. В.* Универсальность изменений в проявлениях эпидемического процесса антропонозных инфекций за последние десятилетия // *Журнал микробиологии.* 2015. № 5. С. 12—20.
8. *Шмаров И. А., Земцов В. А., Гуськов А. С., Бражникова Л. В.* Инсоляция помещений как средство ограничения распространения COVID-19, гриппа и ОРВИ в городской среде // *Academia. Архитектура и строительство.* 2020. № 4. С. 83—92.
9. *Confinement, comfort and health: Analysis of the real influence of lockdown on university students during the COVID-19 pandemic / A. Millán-Jiménez et al.* // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2021. Vol. 18. No. 11.
10. *COVID-19 and living space challenge. Well-being and public health recommendations for a healthy, safe, and sustainable housing / D. D'alessandro et al.* // *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis.* 2020. Vol. 91. No. 9-S. Pp. 61—75.
11. *Andreucci M. B., Russo A., Olszewska-Guizzo A.* Designing urban green blue infrastructure for mental health and elderly wellbeing // *Sustainability.* 2019. Vol. 11. No. 22. Pp. 149—162.
12. *Плетнева К. Г.* Влияние пандемии коронавирусной инфекции 2020—21 гг. и ограничительных мер на предпочтения в организации жилого пространства // *Наукосфера.* 2021. № 2-2. С. 1—5.
13. *Peters T., Halleran A.* How our homes impact our health: using a COVID-19 informed approach to examine urban apartment housing // *ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research.* 2021. Vol. 15. No. 1. Pp. 10—27.

14. Kaplan S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework // Journal of environmental psychology. 1995. Vol. 15. No. 3. Pp. 169—182.
15. Tennessen C. M., Cimprich B. Views to nature: Effects on attention // Journal of environmental psychology. 1995. Vol. 15. No. 1. Pp. 77—85.
16. Anger and stress: The role of landscape posters in an office setting / B. S. Kweon et al. // Environment and Behavior. 2008. Vol. 40. No. 3. Pp. 355—381.
17. Bringslimark T., Hartig T., Grindal Patil G. Adaptation to windowlessness: do office workers compensate for a lack of visual access to the outdoors? // Environment and behavior. 2011. Vol. 43. No. 4. Pp. 469—487.
18. Subjective and measured evidence for residential lighting metrics in the tropics / J. A. Jakubiec et al. // Building Simulation. 2019. Pp. 1151—1159.
19. Indoor environmental quality perceptions of social housing residents / D. Vakalis et al. // Building and Environment. 2019. Vol. 150. Pp. 135—143.
20. Veitch J. A., Galasiu A. D. The physiological and psychological effects of windows, daylight, and view at home // National Research Council of Canada. 2011. Pp. 1—6.
21. Ribeiro C., Ramos N. M. M., Flores-Colen I. A review of balcony impacts on the indoor environmental quality of dwellings // Sustainability. 2020. Vol. 12. No. 16.
22. Птичникова Г. А., Антюфеев А. В. Город «после». Пандемия как градостроительная проблема // Социология города. 2020. № 3. С. 5—13.
23. Fezi B. A. The role of architecture and urbanism in preventing pandemics // SARS-CoV-2 Origin and COVID-19 Pandemic Across the Globe. 2021. Pp. 273—292.
24. Maturana B., Salama A. M., McInney A. Architecture, urbanism and health in a post-pandemic virtual world // Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research. 2021. Vol. 15. No. 1. Pp. 1—9.
25. Етеревская И. Н., Назарова М. П., Янин К. Д. Особенности формирования адаптивности городских общественных пространств // Социология города. 2021. № 3. С. 17—29.
26. Иванова А. Т. Виртуализация социально-экономических процессов в условиях пандемии как следствие цифровизации // Россия в глобальном мире : материалы Межрегион. науч.-практ. конф. молодых ученых, Тверь, 7 дек. 2020 г. Тверь, 2021. С. 202—207.
27. Atmodiwirjo P., Yatmo Y. A. Shifting interiority: changing encounters with our environment // Interiority. 2020. Vol. 3. No. 2. Pp. 117—120.
28. Бенаи Х. А. Функционально-планировочные особенности комфортного жилья в многоквартирных жилых зданиях // Вестн. Донбасской нац. акад. стр-ва и архитектуры. 2016. № 2(118). С. 42—46.
29. Потокина Т. М., Карпенко А. Г. Цвет как элемент структурирования социального пространства // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 158—167.
30. Петров В. Э. Проектирование доступного жилья с применением принципов экологической безопасности // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 193—202.
31. Дулепова М. А., Бочков П. В. Тенденции строительства жилой недвижимости в условиях второй волны коронавируса и последующего посткризиса // Российские регионы в фокусе перемен : сб. докл. XV Междунар. конф., Екатеринбург, 10—14 нояб. 2020 г. Екатеринбург, 2021. С. 58—61.
32. Megahed N. A., Ghoneim E. M. Indoor Air Quality: Rethinking rules of building design strategies in post-pandemic architecture // Environmental Research. 2021. Vol. 193.
33. Ulrich R. S. Effects of interior design on wellness: theory and recent scientific research // Journal of Health Care Interior Design : Proceedings from the Symposium on Health Care Interior Design. 1991. Vol. 3. Pp. 97—109.
34. Caniato M., Gasparella A. Discriminating People's Attitude towards Building Physical Features in Sustainable and Conventional Buildings // Energies. 2019. Vol. 12. No. 8. Pp. 1—27.
35. Reliving-Rethinking the interior architecture during and after Pandemic situation / N. R. González et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1203. No. 3.
36. Ерышева А. С. Психология цвета. Цвет в дизайне интерьера // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова : материалы конф., Белгород, 30 апр. 2021 г. Белгород, 2021. С. 677—681.

37. Дик И. А., Ковалев В. В. Психология восприятия в дизайне: создание образа и эмоциональное воздействие цвета // Психология в современном мире : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 28 апр. 2017 г. М., 2017. С. 217—219.
38. Абакумов Р. Г. Формирование приоритетов и требований, предъявляемых к строительству жилья эконом-класса на рынке жилой недвижимости // Изв. Юго-Западного гос. ун-та. Сер. : Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 1. С. 106—117.
39. Дмитриев А. Н., Гурьев В. В., Яхкин С. И. Развитие нормативно-правовой базы для реализации национального проекта «Жилье и городская среда» // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 112-летию РЭУ им. Г. В. Плеханова, Москва, 10—14 апр. 2019 г. М., 2019. С. 167—172.
40. Иванова Н. В., Ганжа О. А., Подковыров И. Ю. Методические основы строительства вертикального озеленения здания // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 142—155.
41. Дубов И. А. Назаров К. Р. Проектирование озеленения города с учетом насаждений различного аллергенного потенциала // Конкурс науч.-исслед. работ студентов Волгогр. гос. техн. ун-та : тез. докл. Волгоград, 19—22 мая 2020 г. Волгоград, 2020. С. 332—333.
42. Черешнева И. В., Черешнева Н. В. Этапы развития жилищного фонда г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 259—268.

© Иванова Н. В., Романова В. В., 2022

Поступила в редакцию
в апреле 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Романова В. В. Проектирование жилых зданий в условиях пандемии коронавируса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 301—316.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. архитектуры, проф., проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-2472-1705, ivanovaninav@mail.ru

Романова Валерия Вадимовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; romanova.volgograd@gmail.com

Nina V. Ivanova, Valeria V. Romanova

Volgograd State Technical University

DESIGN OF RESIDENTIAL BUILDINGS UNDER THE CONDITIONS OF THE CORONAVIRUS PANDEMIC

The article is devoted to the study of the modern direction of designing new types of living environment during the pandemic. The analysis of architectural design experience is presented, a set of factors influencing the formation of a comfortable living environment is determined. An express survey of students of VolgSTU was conducted and architectural and design conditions for the organization of comfortable housing for permanent use and work were identified. An experimental design of a residential apartment was carried out taking into account the identified needs.

Key words: coronavirus pandemic, architectural design, self-isolation, living space, planning, trends in design, comfortable housing, adaptability.

For citation:

Ivanova N. V., Romanova V. V. [Design of residential buildings under the conditions of the coronavirus pandemic]. *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], 2022, iss. 2, pp. 301—316.

About authors:

Nina V. Ivanova — Candidate of Architect, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2472-1705, ivanovaninav@mail.ru

Valeria V. Romanova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; romanova.volgograd@gmail.com

УДК 69.05:004

С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, В. В. Плешаков

Волгоградский государственный технический университет

ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КАЖДОГО ЭТАПА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассмотрены возможности и перспективы применения цифровой информации для каждой стадии жизненного цикла зданий и сооружений, разработанной на основе действующего в РФ нормативного документа, а также соответствующие уровни детализации информационной модели. Приведена схема развития и модель зрелости технологии информационного моделирования применительно к различным этапам жизненного цикла строительной продукции. Отмечается, что на современном этапе развития BIM-технологий (BIM — Building Information Model) используется второй уровень зрелости, важнейшая задача которого — совместная слаженная работа, базирующаяся на междисциплинарной интеграции различных проектных групп, в основе которой лежит сводная информационная модель, находящаяся в единой базе общих данных. Проанализированы подходы к принятию модели единой платформы для решения конкретной задачи, в частности на примере функционирования магистральных трубопроводов. В табличной форме представлено, для каких стадий жизненного цикла могут быть применены уровни детализации информационной модели. В заключение отмечается, что модели жизненного цикла строительной продукции, разработанные для принятия различного рода управленческих решений и нашедшие отражение в современной нормативной документации и научной литературе, требуют дальнейшего развития и совершенствования на основе системного подхода.

К л ю ч е в ы е с л о в а: уровни детализации информационной модели, подходы к созданию модели единой платформы, магистральные трубопроводы.

Современные цифровые технологии в мировой экономике с каждым годом переходят на новый качественный уровень. Прогресс цифровизации строительной отрасли обусловлен огромными возможностями решений глобальных вопросов, связанных в том числе с ростом населения и его благосостояния [1, 2]. На современном уровне развития к строительным цифровым технологиям относятся «технологии математического и компьютерного моделирования; интеллектуальные технологии; технологии Big Data, которые дают возможность работать с большими массивами информации; технологии определения местонахождения; облачные сервисы, где можно выделить дисковое пространство на удаленном сервере; интеллектуальные датчики; мобильные устройства; технологии 3D-печати» [3] и др., рассмотренные в [2, 4]. В данной работе в основном уделим внимание возможностям BIM-технологий (BIM — Building Information Model).

Базисом BIM-технологий является разработка посредством специального программного и аппаратного обеспечения интегрированных цифровых моделей виртуальных строительных систем применительно к каждой стадии жизненного цикла строительной системы.

В интегрированную цифровую модель включается вся информация об объекте строительства, в том числе сведения о его физических особенностях и функциональной специфике, а также информация, связанная с жизненным циклом проекта в виде серии интеллектуальных объектов [5].

В целом BIM, т. е. информационное моделирование объекта строительной системы, можно охарактеризовать как процесс реализации согласованных, последовательных и исчислимых сведений о проекте здания в проектно-параметрической информации, которая используется для согласования и утверждения совокупности различных проектных решений, выпуска строительной документации высшего качества, создания прогнозов касательно долговечности строительного объекта и составления строительной сметы¹.

На основании всего вышесказанного можно констатировать, что в настоящее время применение технологий BIM лежит в основе решения всех текущих задач в сфере строительства и проектирования зданий и сооружений различного назначения.

Ключевые отличия BIM-технологии от традиционной технологии разработки и реализации проекта строительной продукции наглядно представлены в Руководстве по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов². Анализ этой работы показывает, что использование BIM-технологий позволяет проектировщикам, с одной стороны, в значительно меньшей степени быть задействованными в создании 2D-чертежей и ведении многочисленной технической документации, а с другой — заниматься проектированием, планированием, управлением качеством и некоторыми другими своими непосредственными задачами, используя для этого данные, которые формируются и хранятся на одном цифровом местоположении BIM.

Итак, благодаря информационной модели можно создать трехмерное (3D) представление объекта строительной системы, а в последующем — четырехмерное (4D) и пятимерное (5D). Стоит обратить внимание, что 4D-модель, созданная по BIM-технологии, являет собой 3D-модель, дополнительно включающую информацию о времени либо расписании. Другими словами, такая модель позволяет анализировать график строительства объекта и управлять им; кроме того, это можно использовать для анимирования различных процессов создания проекта. В свою очередь, 5D-модель BIM — 4D-модель, в которую включены сведения о затратах. Данные о времени, дополняя данные о затратах, дают возможность сопоставлять информацию о расходах с программой проекта, анализируя денежные потоки и пр.³.

Существует также и модель BIM 6D, уровень геометрической детализации и информационной насыщенности элементов которой значительно выше, поэтому для ее реализации требуются особые программные продукты⁴.

¹ New McGraw Hill Construction Green BIM Smart Market Report.
URL: <https://www.ideateinc.com/blog/2010/10/new-mcgraw-hill-construction-green-bim>.

² Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов.
URL: https://www.idtsoft.ru/sites/default/files/fields/node/publication/field-files/2019-09/bim_guide_for_owners_%28clients%29_of_industrial_facilities_2019-03-18.pdf.

³ NATSPEC. National BIM Guide. 2011.
URL: https://docviewer.yandex.ru/view/0/?page=1&*=S9mTzVapAgo4JCGIvYQL5dZVaHJ7InVyBcI6Imh0dHBzOi8vdMjc2NvcMvJYXJkLnN0YW5mb3JkLmVkdS9zaXR.

⁴ Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов.
URL: https://www.idtsoft.ru/sites/default/files/fields/node/publication/field-files/2019-09/bim_guide_for_owners_%28clients%29_of_industrial_facilities_2019-03-18.pdf.

Схема развития и модель зрелости технологии информационного моделирования, которые соответствуют этапам жизненного цикла строительной продукции, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Схема развития и модель зрелости технологии информационного моделирования для различных этапов жизненного цикла строительной продукции⁵

Как видно, в настоящее время используется уровень 2. Он является показателем зрелости BIM-технологий и принят в международной практике. От нижестоящих уровней он отличается главным образом тем, что его важнейшая задача — совместная слаженная работа, базирующаяся на междисциплинарной интеграции различных проектных групп, в основе которой лежит сводная информационная модель, находящаяся в единой базе общих данных. В целях функционального взаимодействия задействуют не только исходные, но и открытые форматы, а также схемы предоставления данных. Обмен данными происходит на уровне 3D-геометрии и атрибутивной информации, где добавляются четырехмерное (связанное, как уже отмечалось, с данными о времени, увязке модели с календарно-сетевыми графиками) и пятимерное (данные о стоимости (затратах), назначении и увязке ресурсов и расценок)

⁵ Там же.

измерения. Кроме этого, на указанном уровне частично применяется BIM на всех стадиях жизненного цикла объекта строительной системы. Также здесь есть возможности для сбора данных по моделям и проверок на коллизии в автоматизированном порядке.

Уровень 3 — интегрированный интероперабельный BIM — подразумевает работу с помощью веб-сервисов всех участников проекта, включая все проектные дисциплины. На данном уровне имеется единая интегрированная датацентричная информационная модель, концепция которой базируется на принципах открытых схем, форматов данных, семантик и онтологий. На текущий момент в международной практике не реализуются документы и стандарты такого уровня.

Уровень проработки или зрелости технологии информационного моделирования напрямую зависит от подхода к принятию модели единой платформы (ETL и ELT) для решения конкретной задачи [6—8].

Разберем три ключевых этапа ETL и ELT⁶: E (*extraction* — «извлечение») — получение необработанных данных из пула (набора готовых к использованию объектов) неструктурированных данных и их перенос во временное промежуточное хранилище данных; T (*transformation* — «преобразование») — структурирование, обогащение и преобразование необработанных данных, чтобы они соответствовали целевому источнику; L (*loading* — «загрузка») — загрузка структурированных данных в хранилище данных для анализа и использования инструментами бизнес-аналитики (BI).

Применение цифровых технологий часто рассматривается для решения экологических задач [9—11].

В качестве примера рассмотрим функционирование магистральных трубопроводов на различных стадиях жизненного цикла с учетом экологических аспектов на основе подхода ELT.

Итак, задача — выявление отрицательного воздействия природно-техногенной среды (ПТС) на надежность функционирования магистральных трубопроводов. Приведем некоторые факторы ПТС, которые уменьшают расчетный ресурс трубопроводов: подземные воды по минерализации, г/л; грунтовые воды по проектным отметкам уровня грунтовых вод (УГВ) относительно трубопровода; агрессивность почв по типу (виду) грунта; агрессивность почв по содержанию соленцов; оползни; карстовые явления; сейсмичность; вибрации; ветровые эрозии по среднему числу дней в год с пыльной бурей.

Степень уменьшения расчетного ресурса трубопроводов зависит от конкретных показателей (значений), отсутствия или присутствия того или иного фактора.

На безопасное функционирование магистральных трубопроводов влияют также искусственные и естественные пересечения и переходы (железные и автомобильные дороги, водоемы, различные продуктопроводы и т. д.), создавая точечные экологически опасные зоны (ТЭОЗ), узлы повышенной экологической опасности (УПЭО). Суммарное влияние всех факторов может привести к аварийным ситуациям.

⁶ Perbedaan ETL Dan ELT. URL: <https://www.princewisnu.com/2020/06/perbedaan-etl-dan-elt.html>.

Обработка большого количества данных для таких линейно-протяженных объектов, как магистральные трубопроводы, без применения цифровых технологий является малоэффективной, так как данные периодически могут обновляться.

Именно это обстоятельство позволило авторам статьи [8] предложить новое понимание ELT-подхода, который называется D_ELТ («отложенное извлечение — загрузка — преобразование») с использованием распараллеливания на основе модели программирования MapReduce.

Авторы отмечают, что «среди различных видов больших данных мы концентрируемся на геопространственных больших данных, генерируемых с помощью датчиков с использованием технологии Интернета вещей (IoT). В среде IoT задержка обновления больших данных датчиков обычно коротка, а старые данные не стоят дальнейшего анализа, поэтому скорость подготовки данных еще более значительна» [8].

На рис. 2 представлена некоторая абстрагированная схема обработки больших данных с целью экологического обеспечения функционирования магистральных трубопроводов, которая показывает принципиальный подход ELT.



Рис. 2. Схема обработки данных на основе подхода ELT

В целом с помощью подхода ELT можно также выполнить решение обратной задачи: как влияют строительство, реконструкция, капитальный ремонт и эксплуатация магистральных трубопроводов на окружающую природную среду. Решение подобных задач позволяет сохранить экологическое равновесие окружающей среды.

Отметим, что подход ELT для сбора необходимых данных при моделировании строительной системы с применением BIM-технологии необходим с учетом основных и второстепенных BIM-сценариев.

Существуют различные модели⁷ [12], отображающие этапы жизненного цикла строительной продукции. Они различаются не только по количеству этапов, но и по сути использования BIM-технологии для управления ими. Имеет место определенная путаница в терминах: например, эксплуатация проекта или его утилизация (снос) взамен строительной системы. Кроме того, отсутствует систематический подход при разработке этапов (стадий) жизненного цикла строительной продукции.

Информационная модель объекта строительства может быть как подробной, так и малонасыщенной. Принято рассматривать пять уровней детализации (LOD — level of development) информационной модели: LOD 100 — LOD 500⁸.

На рис. 3 представлено соответствие этапов жизненного цикла строительной продукции уровню детализации.



Рис. 3. Соответствие уровней детализации и информационной модели, разработанной на основе СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»

⁷ Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов. URL: https://www.idtsoft.ru/sites/default/files/fields/node/publication/field-files/2019-09/bim_guide_for_owners_%28clients%29_of_industrial_facilities_2019-03-18.pdf.

Использование технологий BIM для проектирования подземных сооружений. Из зарубежного опыта. URL: <https://www.geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/ispolzovanie-tehnologij-bim-dlya-proektirovaniya-podzemnyh-sooruzhenij-iz-zarubezhnogo-opyta-44172.shtml>.

Жизненный цикл здания и его связь с внедрением технологии BIM. URL: <https://rgud.ru/press-releases/zhiznennyi-tsikl-zdaniya-i-ego-svyaz-s-vnedreniem-tehnologii-bim/?representation=12>.

⁸ Уровни детализации элементов информационной модели здания. URL: <https://www.proekt.od.ua/2019/05/blog-post.html>.

Как правило, уровень полноты проработки того или иного элемента информационной модели, или, иными словами, уровень детализации (LOD), обуславливает, какой объем графической и неграфической (так называемой атрибутивной) информации нужен для определенного элемента указанной модели в рамках конкретного этапа ее развития.

Более подробно для каждого уровня детализации проработка элементов информационной модели приведена в табл.

*Проработка элементов информационной модели
 для четырех уровней детализации*

Элемент информационной модели	LOD 100 — LOD 200	LOD 300	LOD 400
Выпуск проектной документации	—	+	—
Выпуск рабочей документации	—	—	+
Анализ	+	+	+
Оценка стоимости	+	+	+
3D-координация	—	+	+
Планирование	+	+	+
Строительство	—	—	+
Для решения других задач, указанных в требованиях заказчика	+	+	+

В заключение отметим, что модели жизненного цикла строительной продукции, разработанные для принятия различного рода управленческих решений и нашедшие отражение в современной нормативной документации и научной литературе, требуют дальнейшего развития и совершенствования. Для этого нужно задействовать системный подход, в рамках которого каждый отдельно взятый этап выступает в качестве подсистемы, которая, в свою очередь, также имеет некоторые составляющие. В русле такого подхода реконструкцию строительного объекта необходимо рассматривать как новую фазу его жизненного цикла; она, так же как и строительство нового объекта, предполагает прохождение ряда этапов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sinyagov S., Kupriyanovsky V., Kurenkov P., Namiot D. Building and engineering based on BIM standards as the basis for transforming infrastructures in the digital economy // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. Pp. 46—79.
2. 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 // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 429—437.
3. Травуш В. И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 107—117.
4. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 305—313.
5. Deubel M. Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Building Information Modeling (BIM) in der Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten. Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2021. 431 p. URL: <https://books.google.ru/books?id=iAwjEAAAQBAJ&pg=PA316&lpg=PA316&dq=https://arch.gatech.edu/people/charles-eastman&source>.
6. Hrubaru I. Distributed data processing for workloads: the case of open source systems // 33rd International Business Information Management Association (IBIMA) Conference. Education Excellence and Innovation Management Through. 2019. Pp. 581—587.

7. Azaiez N., Akaichi J. Override traditional decision support systems how trajectory ELT processes modeling improves decision making? // *Modelsworld: Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*. 2017. Pp. 550—555. DOI: 10.5220/0006269605500555.

8. Jo J., Lee K. W. MapReduce-based D-ELT framework to address the challenges of geospatial big data // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. Vol. 8. Iss. 11. DOI: 10.3390/ijgi8110475.

9. Chen C., Zhao Z. F., Xiao J. Z., Tiong R. A conceptual framework for estimating building embodied carbon based on digital twin technology and lifecycle assessment // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 24. DOI: 10.3390/su132413875.

10. Giaveno S., Osello A., Garufi D., Razo D. S. Embodied carbon and embodied energy scenarios in the built environment. Computational design meets EPDs // *SUSTAINABILITY*. 2021. Vol. 13. Iss. 21. DOI: 10.3390/su132111974.

11. Интеграция BIM и ГИС технологий в целях обеспечения экологической безопасности строительства / С. Г. Абрамян, А. В. Котляревская, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, А. А. Дикмеджан // *Международ. науч.-исслед. журн.* 2020. № 5. Ч. 1. С. 32—35.

12. Кондратьева М. А. Планирование затрат на стадиях жизненного цикла строительной продукции // *Вестн. ПГАС*. 2013. № 87. С. 87—91.

© Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О., Плешаков В. В., 2022

*Поступила в редакцию
в феврале 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Возможности цифровых технологий для каждого этапа жизненного цикла строительной системы / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, В. В. Плешаков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 2(87). С. 317—325.

Об авторах:

Абрамян Сусанна Грантовна — канд. техн. наук, доц., проф. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; susannagrants@mail.ru

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

Оганесян Оганес Валерьевич — магистрант, каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; ogoganesyans@mail.ru

Бурлаченко Александр Олегович — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; a.o.burlachenko@gmail.com

Плешаков Владимир Владимирович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; vladimir.p.181@mail.ru

**Susanna G. Abramyana, Oleg V. Burlachenko, Oganess V. Oganessyan,
Aleksander O. Burlachenko, Vladimir V. Pleshakov**

Volgograd State Technical University

POSSIBILITIES OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR EACH STAGE OF THE LIFE CYCLE OF THE BUILDING SYSTEM

The article discusses the possibilities and prospects for the use of digital information for each stage of the life cycle of buildings and structures, developed on the basis of the regulatory document in force in the Russian Federation, as well as the corresponding levels of detail of the information

model. The scheme of development and maturity model of information modeling technology is given in relation to various stages of the life cycle of construction products. It is noted that at the modern stage of development of BIM technologies (BIM — Building Information Model), maturity level 2 is used, the most important task of which is joint coordinated work based on interdisciplinary integration of various project teams, which is based on a summary information model located in a single common database. Approaches to the adoption of a single platform model for solving a specific problem are analyzed, in particular, on the example of the functioning of main pipelines. In tabular form, it is presented for which life cycle stages the levels of detail of the information model can be applied. In conclusion, it is noted that the models of the life cycle of construction products, developed for making various kinds of managerial decisions and reflected in modern regulatory documentation and scientific literature, require further development and improvement based on a systematic approach.

Key words: levels of detail of the information model, approaches to creating a model of a single platform, main pipelines.

For citation:

Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganessian O. V., Burlachenko A. O., Pleshakov V. V. [Possibilities of digital technologies for each stage of the life cycle of the building system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 2, pp. 317—325.

About authors:

Susanna G. Abramyan — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; susannagrants@mail.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, oburlachenko@yandex.ru

Oganes V. Oganessian — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ogoganessian@mail.ru

Aleksander O. Burlachenko — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; a.o.burlachenko@gmail.com

Vladimir V. Pleshakov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vladimir.p.181@mail.ru

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» **включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.**

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-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 завершается личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — 8—12 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сyr) № 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 A4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), *экспликация* в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится *только* цитируемая в статье литература. Редколлегией приветствуется цитирование журнала. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке

упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи направляются редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и публикуются только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору по требованию.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ <http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна). vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Е.В. Карчагину по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-
дия. **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС 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
2022. Выпуск 2(87)**

Корректор *Н. Э. Ситникова*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 22.07.2022. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 16,0. Усл. печ. л. 28,7. Тираж 500 экз. Заказ № 104

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