

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Вып. 4(89) **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

ВолгГТУ

С о д е р ж а н и е

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

- Богомолова О. А., Жиделев А. В., Богомолов С. А.** Определение сил оползневого давления и давления на шпунтовое ограждение котлована на основе анализа напряженного состояния грунтового массива 6
- Богомолова О. А., Жиделев А. В., Богомолов С. А.** Метод виртуальных перемещений при оценке устойчивости нагруженных откосов 22
- Олянский Ю. И., Татаркин А. В., Щекочихина Е. В.** Набухающие свойства сарматских глин 32
- Панина О. В., Донцова О. Л., Махова С. И.** Анализ эффективности метода определения показателей просадочности грунтов по физическим свойствам на территории Краснодара 44
- Ушаков А. Н.** О прочности контуров одиночных подземных горизонтальных выработок эллиптической формы поперечного сечения, подверженных всестороннему равномерному давлению 56

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

- Алексиков С. В., Гофман Д. И., Брыткова О. А., Глазунов И. И.** Покрытие автомобильной дороги М6 «Каспий» из модифицированного бетона 69
- Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Багдасарян А. А.** Исследование устойчивости высоких насыпей при их уширении 78
- Десятков М. М., Сапожкова Н. В., Дубов И. А., Назаров К. Р.** Экологические потребительские свойства дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной территории Волгограда как природно-технической системы 88

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Коновалов О. В., Арзамаскова Л. М., Евдокимов Е. Е. Векторные модели констант упругой податливости и констант упругой жесткости при исследовании неоднородности упругих свойств поликристаллов 99

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Акчури Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П., Стефаненко И. В. Исследование влияния различных добавок на прочностные свойства строительных материалов на основе магниевых вяжущих 106

Тараканов О. В., Акчури Т. К., Ерофеева И. В., Белякова Е. А. Повышение эффективности действия противоморозных добавок в технологии бетона 114

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Сорокин А. М. Информационно-аналитическая система мониторинга повышения надежности, управляемости и качества теплоснабжения Волгограда 130

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Вурдова Н. Г., Москвичева Е. В., Тимофеев А. Г., Изотов В. В., Кузов А. В. Определение стоимости инвестиционного проекта на предпроектной стадии (на примере реконструкции водоочистных сооружений) 138

Юрьев Ю. Ю., Батманов В. П., Москвичева А. В., Игнаткина Д. О., Тырин Д. В. Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод 152

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н., Ермилова Н. Ю., Проценко О. В. Особенности процессов пылегазоулавливания на текстильных материалах из ионообменных волокон 161

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Ахмедова Н. Р., Наумов В. А. Анализ ряда максимальных годовых расходов воды реки Инстроч (1901—2019) 170

Ехаева А. О., Волков В. С. Современные подходы к формированию прибрежных территорий малых городов на примере городских поселений Волгоградской области 180

Иванова Н. В., Морковина С. А. Архитектурно-ландшафтная организация объектов рекреационной деятельности на территории зеленого кольца вокруг Волгограда 189

Меренцов Н. А., Персидский А. В., Голованчиков А. Б., Гендлер А. С., Тезиков Д. А. Автоматическое управление насадочными абсорбционными аппаратами селективной очистки газов, работающими в режиме эмульгирования 198

Путятин Д. П., Оводков М. В., Азаров В. Н. Актуальные задачи эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и подходы к их решению 209

Растяпина О. А., Матузкова М. А., Прокопенко В. В., Сабитова Т. А. Оценка потенциала формирования экопоселений на приречных территориях (на примере о. Сарпинского г. Волгограда) 222

Сергина Н. М., Брызгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д. Исследования загрязнения мелкодисперсной пылью воздушной среды в парковых зонах большого промышленного города 231

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Алиева Р. Ш. Каменная пластика в культовом зодчестве Апшерона (Азербайджан) 240

Гельфонд А. Л. По следам фестиваля «Эко-берег — 2017»: территория Стрелки в Нижнем Новгороде 248

Матовникова Н. Г., Яковлева А. Ю., Шульц Е. П. Проблемы модификации лабиринта как традиционного архитектурного паркового сооружения и использования его в различных зонах парка 258

Самогоров В. А., Журавлева Т. Д. Эволюция архитектурно-планировочной структуры набережной Самары 268

Черешнев И. В., Тисленко А. А. Применение интерактивных общественных пространств при формировании архитектурно-ландшафтной среды прибрежных территорий Волгограда 279

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

Олейников П. П., Мельникова О. Г. Проектирование первого в России ремесленного училища в г. Царицыне (конец XIX в.) 289

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Гришин Б. М., Гурова Д. А., Колышев Ю. Б., Шестопалов И. В., Соколов И. И. Водные каркасы крупных, средних, малых рек — перспективный вектор развития туризма в Волгоградском регионе 301

ХРОНИКА

Кадышев Г. И. Демографические катастрофы России в период 1917 г. — 1990-х гг. 311

От редколлегии 324

Content

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS. UNDERGROUND STRUCTURES	
<i>Bogomolova O. A., Zhidelev A. V., Bogomolov S. A.</i> Determination of the forces of landslide pressure and pressure on the sheet pile fence of the pit based on the analysis of the stressed state of the soil massif	6
<i>Bogomolova O. A., Zhidelev A. V., Bogomolov S. A.</i> The method of virtual displacements in assessing the stability of loaded slopes	22
<i>Olyanskii Yu. I., Tatarkin A. V., Shchekochikhina E. V.</i> Swelling properties of Sarmatian clays	32
<i>Panina O. V., Dontsova O. L., Makhova S. I.</i> Analysis of the effectiveness of the determination method indicators of soil subsidence by physical properties on the territory of Krasnodar	44
<i>Ushakov A. N.</i> On the strength of the contours of single underground horizontal workings of elliptical cross-sectional shape, subject to all-round uniform pressure	56
DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS	
<i>Aleksikov S. V., Gofman D. I., Brytkova O. A., Glazunov I. I.</i> Modified concrete pavement of the highway M6 "Caspian"	69
<i>Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Bagdasaryan A. A.</i> Investigation of the stability of high embankments during their widening	78
<i>Devyatov M. M., Sapozhkova N. V., Dubov I. A., Nazarov K. R.</i> Ecological consumer properties of the road transport infrastructure of the coastal territory of Volgograd as a natural and technical system	88
STRUCTURAL MECHANICS	
<i>Konovalov O. V., Arzamaskova L. M., Evdokimov E. E.</i> Vectorial models of elastic compliance constants and elastic stiffness constants in the study of heterogeneity of elastic properties of polycrystals	99
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
<i>Akchurin T. K., Savchenko A. V., Gubarevich G. P., Stefanenko I. V.</i> Studying the effect of different additives on strength properties of building materials based on magnesium binders	106
<i>Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Erofeeva I. V., Belyakova E. A.</i> Improving the effectiveness of anti-freeze additives in concrete technology	114
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION	
<i>Sorokin A. M.</i> Information and analytical monitoring system for improving the reliability, manageability and quality of Volgograd heat supply	130
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
<i>Vurdova N. G., Moskvicheva E. V., Timofeev A. G., Izotov V. V., Kuzov A. V.</i> Determining the cost of an investment project at the pre-project stage (on the example of reconstruction of water treatment plants)	138
<i>Yur'ev Yu. Yu., Batmanov V. P., Moskvicheva A. V., Ignatkina D. O., Tirin D. V.</i> Improvement of oil-containing wastewater treatment	152
LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION	
<i>Menzelintseva N. V., Marinina O. N., Ermilova N. Yu., Protsenko O. V.</i> Peculiarities of dust and gas collection processes on textile materials made of ion-exchange fibres	161
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING	
<i>Akhmedova N. R., Naumov V. A.</i> Analysis of a series of maximum annual water discharge of the In-struch river (1901—2019)	170
<i>Yekhaeva A. O., Volkov V. S.</i> Modern approaches to the formation of coastal territories of small towns on the example of urban settlements of the Volgograd region	180
<i>Ivanova N. V., Morkovina S. A.</i> Architectural and landscape organization of objects of recreational activities on green ring territories around Volgograd	189
<i>Merentsov N. A., Persidskiy A. V., Golovanchikov A. B., Gendler A. S., Tezikov D. A.</i> Automatic control of packed absorbers for selective gas purification operating in the emulsification mode	198
<i>Putyatin D. P., Ovodkov M. V., Azarov V. N.</i> Actual tasks of the experiment on quotas of emissions of pollutants and approaches to their solution	209

Rastyapina O. A., Matuzkova M. A., Prokopenko V. V., Sabitova T. A. Assessment of the potential for the formation of ecovillages in the riverine territories (on the example of Sarpinsky island, Volgograd)	222
Sergina N. M., Bryazgina E. O., Sushchenko R. V., Azarova M. D. Studies of air pollution with fine dust in the park areas of a large industrial city	231
GENERAL ARCHITECTURE	
Alieva R. Sh. Stone plastic in the cult architecture of Absheron (Azerbaijan)	240
Gelfond A. L. In following of the Eco-Bereg 2017 festival: Strelka territory in Nizhny Novgorod	248
Matovnikova N. G., Yakovleva A. Yu., Shultz E. P. Problems of modification of the labyrinth as a traditional architectural park structure and its use in various areas of the park	258
Samogorov V. A., Zhuravleva T. D. Evolution of the architectural and planning structure of the embankment of Samara	268
Chereshnev I. V., Tislenko A. A. Application of interactive public spaces in the formation of architectural and landscape environment of coastal territories of Volgograd	279
THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE	
Oleinikov P. P., Melnikova O. G. Design of the first vocational school in Russia in the city of Tsaritsyn (end of the 19 th century)	289
CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY	
Grishin B. M., Gurova D. A., Kolyshev Yu. B., Shestopalov I. V., Sokolov I. I. Water framework of large, medium, small rivers — a perspective vector of tourism development in the Volgograd region	301
CHRONICLE	
Kadyshev G. I. Demographic catastrophes of Russia in the period from 1917 to the 1990s.	311
From Editorial Team	324

УДК 624.131

О. А. Богомолова^а, А. В. Жиделев^б, С. А. Богомолов^в

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Филиал «Взлет» Московского авиационного института (МАИ) в г. Ахтубинске*

^в *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ОПОЛЗНЕВОГО ДАВЛЕНИЯ И ДАВЛЕНИЯ НА ШПУНТОВОЕ ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА

В статье рассматривается способ определения сил оползневого давления и сил давления грунта борта котлована на шпунтовое ограждение, что, по сути, одно и то же. Построение линий скольжения осуществляется на основе анализа напряженного состояния приоткосной (прибортовой) зоны. Формы эпюр давления заранее не задаются, а определяются как функции геометрических параметров исследуемого объекта, его напряженного состояния и физико-механических свойств слагающих грунтов. Для однородных откосов для определения напряжений рекомендуется использовать аналитическое решение первой краевой задачи теории упругости для весомой полуплоскости, полученное на основе методов теории функций комплексного переменного, а для неоднородных — численные методы, в частности метод конечных элементов. Установлено, что форма эпюры горизонтального давления грунта борта котлована на шпунтовое ограждение, полученная при проведении расчетов, полностью совпадает с формой соответствующей эпюры, полученной независимо от нас другими авторами при проведении физического эксперимента. Использование предложенного подхода для определения сил давления на шпунтовое ограждение позволяет получить (для условий рассмотренного в работе примера) экономию по металлу в размере 13,7...41,5 %.

Ключевые слова: оползневое давление, давление на ограждающую конструкцию, напряженное состояние, коэффициент бокового давления и физико-механические свойства грунта, методы теории функций комплексного переменного, метод конечных элементов, эпюры давления.

Введение

В настоящее время дефицит территории и возросшие экологические требования ставят задачу совершенствования методов расчета и проектирования грунтовых сооружений с целью минимизации их влияния на окружающую среду. Кроме того, актуальной является задача вовлечения в строительную индустрию так называемых бросовых территорий, большая часть которых — антропогенные и техногенные откосы и склоны оврагов и берегов рек, участки местности со сложным рельефом — является потенциально оползнеопасной. Поэтому возникает задача о закреплении таких объектов и, как следствие, задача об определении оползневого давления.

С другой стороны, в связи с увеличением этажности подземных частей зданий увеличивается и глубина строительных котлованов. Для обеспечения безопасности производства строительных работ необходимо гарантировать устойчивость бортов котлована, чего можно достигнуть, используя различные ограждающие конструкции, определение параметров которых осуществляется на основе результатов расчетов величины давления грунтовых масс на ограждение. Задача определения давления на шпунтовое ограждение котлована является одной из сложных задач геомеханики, при решении которой приходится рассматривать систему взаимодействующих тел: собственно грунтового

массива, слагающего борт котлована, удерживающей конструкции ограждения и основания котлована. Если на дневной поверхности грунта в непосредственной близости от котлована имеется нагрузка, задача еще более усложняется.

Обозначенные выше задачи являются родственными, поэтому в настоящей статье излагается общий подход к их решению, основанный на анализе напряженного состояния грунтового массива.

1. Расчет сил оползневой нагрузки

1.1. Определение напряжений в приоткосной области

Известно, что напряжения в однородной изотропной полуплоскости с криволинейной внешней границей могут быть определены методом [1]. Для этого необходимо иметь функцию $z = \omega(\zeta)$, которая осуществляет конформное отображение круга полуплоскости $\text{Im}Z < 0$ на исследуемую область S , заполняющую в плоскости $z = x + iy$ некоторую ее часть, ограниченную простым контуром L . Наиболее просто решение строится в том случае, когда функция $z = \omega(\zeta)$ является полиномом [2].

Нами [3] предложена функция, которая совершает конформное отображение нижней полуплоскости $\text{Im}Z < 0$ на полуплоскость с криволинейной границей, которая может имитировать контуры откосов, склонов, выемок и насыпей, имеющих различные геометрические параметры:

$$z = \omega(\zeta) = C_0 + C\zeta - \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+1}}, \quad (1)$$

где $z = x + iy$; $\zeta = \xi + i\eta$; C_0 ; C ; C_{2k+1} — любые, в том числе и комплексные, коэффициенты; a и b — действительные числа, $b > 0$.

При помощи отображающей функции (1) получено аналитическое решение первой основной задачи теории упругости для весомой полуплоскости с криволинейной границей, к которой могут быть приложены нагрузки [3] (рис. 1). Величина коэффициента бокового давления грунта ξ_0 при этом может принимать любое значение, встречающееся в природе.

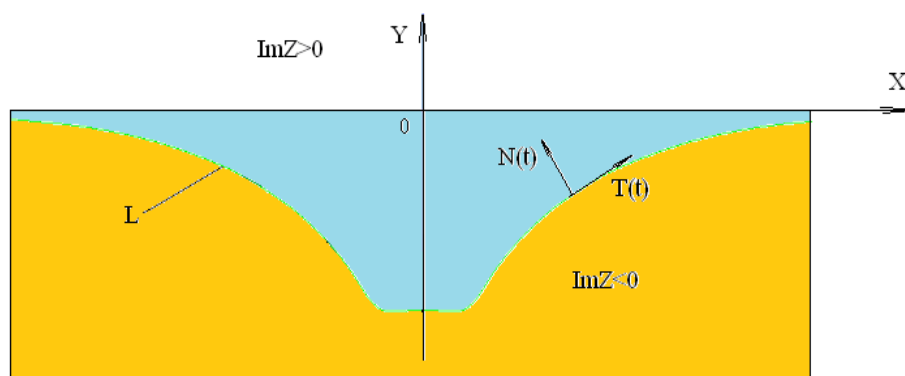


Рис. 1. Расчетная схема к решению первой основной граничной задачи методами теории функций комплексного переменного [3]

Функции, входящие в известные соотношения [1] и определяющие численные значения напряжений в точках исследуемой области, получены в [3] в следующем виде:

$$\Phi(\zeta) = \frac{1}{\left[C + \sum_{k=0}^n \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta+a-bi)^{2k+2}} \right]} \left\{ J_1 + \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(2k)!} \left[\sum_{s=0}^{m=2k+1} \frac{A_m^s \Phi(-a-bi)^{(m-s)}}{(\zeta+a-bi)^{s+1}} - \sum_{s=0}^{m=2k} \frac{A_m^s \Phi'(-a-bi)^{(m-s)}}{(\zeta+a-bi)^{s+1}} \right] \right\}; \quad (2)$$

$$\Psi(\zeta) = \frac{1}{\left[C + \sum_{k=0}^n \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta+a-bi)^{2k+2}} \right]} \left\{ J_2 + \left[C + \sum_{k=0}^n \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta+a+bi)^{2k+2}} \right] \Phi(\zeta) + \left[C_0 + C\zeta - \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(\zeta+a+bi)^{2k+1}} \right] \Phi'(\zeta) - \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(2k)!} \left[\sum_{s=0}^{m=2k+1} \frac{A_m^s \Phi^{(m-s)}(-a-bi)}{(\zeta+a+bi)^{s+1}} - \sum_{s=0}^{m=2k} \frac{A_m^s \Phi^{(m+1-s)}(-a-bi)}{(\zeta+a+bi)^{s+1}} \right] \right\}. \quad (3)$$

Если исследуемая область неоднородна или границу грунтового массива невозможно описать при помощи конформного отображения, то для анализа его напряженного состояния необходимо использовать численные методы, например метод конечных элементов [4—9].

Таким образом, считаем, что поля напряжений σ_z , σ_x и τ_{zx} для условий рассматриваемой задачи нам известны.

1.2. Определение величины коэффициента запаса устойчивости откоса

Запишем условие прочности Кулона [10; 11] в виде, предложенном Како [12], предварительно введя некоторую функцию K :

$$K\tau_n = (\sigma_n + \sigma_{св}) \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где τ_n и σ_n — безразмерные (в долях γh) касательное и нормальное напряжения, действующие в некоторой точке грунтового массива по наклонной площадке, ориентированной под углом α ; K — некоторая функция напряженного состояния, называемая коэффициентом запаса устойчивости в точке грунтового массива; $\sigma_{св} = C(\gamma h_3 \operatorname{tg} \varphi)^{-1}$ — приведенное давление связности; C , φ , γ и h — сцепление, угол внутреннего трения, удельный вес грунта и высота откоса соответственно.

При $K = 1$ выражение (4) совпадает с условием прочности Кулона.

Выразим напряжения τ_n и σ_n через их компоненты σ_z , σ_x , τ_{xz} , угол наклона площадки α и подставим полученные выражения в формулу (4), тогда

$$K = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz} \sin 2\alpha + \sigma_{cb} \right] \operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha + \tau_{xz} \cos 2\alpha}. \quad (5)$$

Угол наклона площадки сдвига, при котором значение K принимает минимальное значение, определяется из условия минимальности нереализованного сопротивления сдвигу.

Запишем выражение

$$\tau_n + \tau_{\text{ост}} = (\sigma_n + \sigma_{cb}) \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

где $\tau_{\text{ост}}$ — нереализованное сопротивление сдвигу или, по терминологии И. В. Федорова [13], «остаточное» сопротивление сдвигу.

Если $\tau_{\text{ост}} > 0$, то грунт обладает некоторым нереализованным сопротивлением сдвигу и находится в упругом состоянии. Если $\tau_{\text{ост}} = 0$, то выражение (6) принимает вид условия прочности Кулона.

Из выражения (6) следует, что

$$\tau_{\text{ост}} = (\sigma_n + \sigma_{cb}) \operatorname{tg} \varphi - \tau_n. \quad (7)$$

Естественно, что ориентация наиболее вероятной площадки сдвига может быть определена из условия стремления $\tau_{\text{ост}} \rightarrow 0$. Следовательно, процесс отыскания угла α сводится к решению относительно α уравнения

$$\frac{\partial \tau_{\text{ост}}}{\partial \alpha} = 0. \quad (8)$$

Подставляя в выражение (7) значения σ_n и τ_n и беря производную, получим

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{(\sigma_x - \sigma_z) - 2\tau_{xz} \operatorname{tg}(\varphi)}{2\tau_{xz} - (\sigma_z - \sigma_x) \operatorname{tg}(\varphi)}. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что угол α однозначно определен напряженным состоянием и углом внутреннего трения и не зависит от величины сцепления.

Нетрудно видеть, что для идеально связного грунта ($\varphi = 0$) формула (9) принимает вид

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2\tau_{xz}}, \quad (10)$$

хорошо известный из теории упругости.

Глобальный коэффициент запаса устойчивости откоса по наиболее вероятной линии скольжения (НВЛС) определяется по формуле

$$K = \frac{\int_0^l F_{\text{уд}}(S) ds}{\int_0^l F_{\text{сд}}(S) ds}, \quad (11)$$

где $F_{уд}$ и $F_{сд}$ — удерживающие и сдвигающие силы в точках НВЛС, определяемые числителем и знаменателем формулы (5) соответственно; S — дуговая координата точки НВЛС.

Отметим, что при использовании данного способа определения угла ориентации площадки наиболее вероятного сдвига при вычислении коэффициента запаса устойчивости по формулам (5), (8) отличия от аналогичных результатов, получаемых на основе методики определения угла α , предложенной в работе [14], составляют не более 3...4 %.

1.3. Определение сил оползневое давления

Если напряжения в однородном (в случае, когда откос имеет прямолинейный контур, производится соответствующая достройка криволинейного контура до прямолинейного (см. рис. 1), процедура подробно описана в [15]) или в неоднородном откосе определены и при этом отсутствуют области пластических деформаций, то определение величины оползневого давления сводится к выполнению следующей последовательности операций:

а) используя методику [3] и формулы (5)—(11), в откосе строится наиболее вероятная линия разрушения, отвечающая реальными физико-механическими свойствами грунта (C ; φ ; γ ; ξ_0) и геометрическим параметрам откоса;

б) задается положение вертикального сечения, которое совпадает, например, с осью свайного удерживающего элемента и в котором предполагается определить величину сил оползневого давления;

в) на оси удерживающего элемента выбирается несколько точек (включая точку пересечения этой оси и НВЛС) на одинаковых расстояниях друг от друга, из которых строят по той же методике локальные восходящие гипотетические линии скольжения (ЛВГЛС) (см. рис. 1), вычисляют величины локальных коэффициентов устойчивости $K_{л}^{\Gamma}$ и соответствующие суммы удерживающих и сдвигающих сил $F_{уд}^{\Gamma}$ и $F_{сд}^{\Gamma}$;

г) задаются проектной величиной локального коэффициента устойчивости $K_{пр}$, соответствующего той части НВЛС, которая расположена выше и справа (см. на рис. 1) от намеченного сечения;

д) вычисляются «фиктивные» удерживающие $F_{уд}^{\Phi}$, а затем «фиктивные» сдвигающие силы $F_{сд}^{\Phi}$ для каждой локальной восходящей гипотетической линии разрушения; «фиктивная» удерживающая сила равна по величине сумме удерживающих сил при условии, что величина коэффициента устойчивости по этой линии равна проектной величине, т. е. $K_{л}^{\Gamma} = K_{пр}$ (это вытекает из условия, что призма разрушения сползает по линии разрушения как единое целое), величина «фиктивной» сдвигающей силы равна разности между величиной «фиктивной» удерживающей силы и суммой удерживающих сил, действующих по этой линии в действительности;

е) учитывая, что каждая ЛВГЛС наклонена под некоторым углом α к выбранной оси, строят эпюры распределения горизонтальных и вертикальных составляющих $F_{сд}^{\Phi}$, действующих на ось удерживающего элемента; эпюра горизонтальных составляющих «фиктивных» сдвигающих сил и представляет собой эпюру оползневого давления в рассматриваемом сечении; эпюра вертикальных составляющих «фиктивных» сдвигающих сил есть ни что иное,

как эпюра «отрицательных сил трения», которые будут оказывать влияние на осадку свайного удерживающего элемента.

Поясним сказанное выше, рассмотрев конкретные примеры.

Пусть однородный криволинейный откос с углом $\beta = 38^\circ$ сложен грунтом со следующими физико-механическими свойствами: угол внутреннего трения $\varphi = 12^\circ$; удельное сцепление $C = 0,039$ МПа; удельный вес $\gamma = 1,81$ т/м³; коэффициент бокового давления для глинистого грунта принят равным $\xi_0 = 0,75$ [16]. Необходимо построить эпюру сил оползневого давления в сечении $A-A$ при условии, что величина проектного локального коэффициента устойчивости $K_{пр} = 3$.

Авторами разработан вычислительный комплекс, включающий в себя компьютерные программы МТФКП [17] и FEA [18], который позволяет выполнить все процедуры, описанные выше, и провести необходимые расчеты, как для однородных (МТФКП), так и для неоднородных (FEA) откосов.

На рис. 2 приведена расчетная схема метода теории функций комплексного переменного, на которой показаны наиболее вероятная линия скольжения, локальные восходящие гипотетические линии скольжения и положение оси $A-A$ удерживающего элемента.

Считается, что призма разрушения сползает по поверхности разрушения как единое целое, следовательно, должно выполняться условие равенства всех локальных коэффициентов устойчивости величине проектного коэффициента устойчивости.

Результаты расчетов, выполненных при помощи программы ASV32, сведены для удобства анализа в табл. 1.

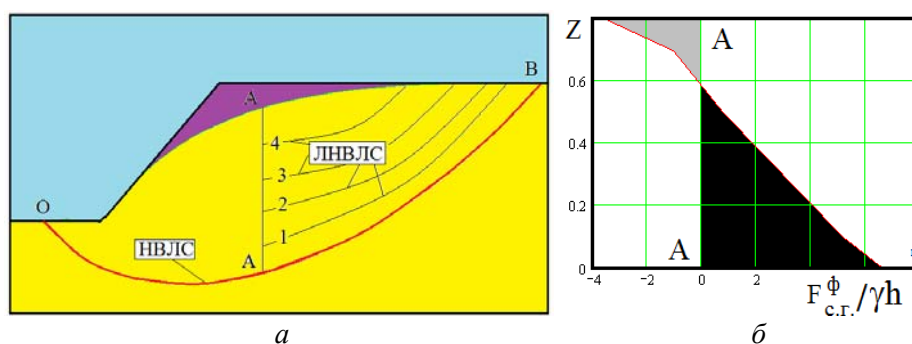


Рис. 2. Расчетная схема метода теории функций комплексного переменного (а) и расчетная эпюра оползневого давления (б)

Значения «фиктивных» удерживающих и сдвигающих сил вычисляются по формулам

$$F_{уд}^{\phi} = \frac{K_{пр}}{K_{л}} F_{уд}^{лг}; \quad (12)$$

$$F_{сд}^{\phi} = F_{уд}^{\phi} - F_{уд}^{лг}. \quad (13)$$

Если «фиктивные» сдвигающие силы отрицательны, это значит, что на самом деле они играют роль удерживающих сил и не учитываются при подсчете величины оползневого давления.

Таблица 1

Результаты расчета сил оползневого давления

Линия скольжения	Расчетное значение суммы удерживающих сил $F_{уд}$ (γh)	Расчетное значение суммы сдвигающих сил $F_{сд}$ (γh)	Расчетное значение коэффициента запаса устойчивости $K_{уд}$	Расчетное значение коэффициента запаса устойчивости $K_{пр}$	«Фиктивная» удерживающая сила $F_{уд}^{\phi}$ (γh)	«Фиктивная» сдвигающая сила $F_{сд}^{\phi}$ (γh)	α°	$E_{ог}$ (γh)	$E_{ов}$ (γh)
АВ	13,565	6,874	1,973	3	20,622	6,966	17,5	6,644	2,15
1	12,646	6,31	2,004	3	17,946	5,3	18,2	5,159	1,65
2	8,424	3,083	2,73	3	9,257	0,833	19,7	0,784	0,28
3	7,172	1,986	3,56	3	5,961	-1,113	17,7	-1,06	-0,338
4	7,074	1,207	5,94	3	3,622	-3,55	7,7	-3,52	-0,475

На рис. 2, *а* приведена построенная в оболочке Mathcad по данным, приведенным в табл. 1, эпюра оползневых давлений для рассмотренного выше примера. Из рис. 2, *б* видно, что эпюра знакопеременная и состоит из двух криволинейных треугольников. Черным цветом выделена собственно эпюра оползневых давлений, которая выступает в роли нагрузки при расчете, например, свайного удерживающего элемента противооползневой конструкции.

Серым цветом помечена «отрицательная» часть эпюры, которая не включается в нагрузку при расчете удерживающего элемента. Зная размеры и форму эпюры оползневых давлений, легко вычисляется величина ее равнодействующей и координаты точки ее приложения. Отметим, что вертикальные координаты на рис. 2, *б* имеют размерность долей h — высоты откоса, а горизонтальные измеряются в долях γh .

Рассмотрим еще один пример. Пусть однородный криволинейный откос (рис. 3, *а*) с углом $\beta = 30^\circ$ сложен грунтом со следующими физико-механическими свойствами: угол внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$; удельное сцепление $C = 0,039$ МПа; удельный вес $\gamma = 1,81$ т/м³; коэффициент бокового давления $\xi_0 = 0,75$. Необходимо построить эпюру сил оползневых давлений в сечении $A1$ — $A0$ при условии, что величина проектного локального коэффициента устойчивости по линии Л1 $K_{пр} = 1,2$.

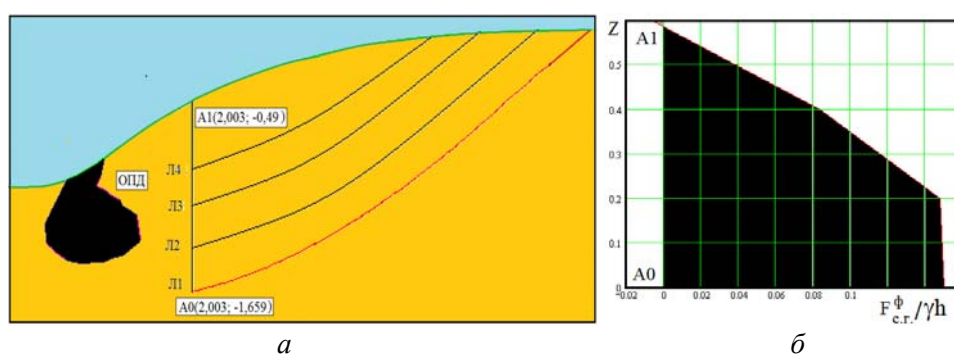


Рис. 3. Расчетная схема МТФКП (*а*) и расчетная эпюра оползневых давлений (*б*)

Продельвая все процедуры, что и в предыдущем примере, получим эпюру сил оползневых давлений в виде криволинейной трапеции.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что форма эпюры оползневых давлений является функцией напряженного состояния и физико-механических свойств слагающих грунтов.

2. Расчет давления на шпунтовое ограждение котлована

Предлагается новый подход к решению этой задачи, который исключает необходимость принимать какую-либо гипотезу о форме эпюры активного давления грунта, позволяет выполнять расчеты для бортов котлованов неоднородного геологического строения при любом возможном в природе значении коэффициента бокового давления грунта ξ_0 .

Этот подход предполагает выполнение всех пунктов, перечисленных в первой части настоящей статьи, где описан алгоритм вычисления величины оползневых давлений.

Рассмотрим пример. Пусть грунтовый массив, в котором устраивается котлован, сложен двумя параллельными слоями грунта. Первый грунтовый слой, мощность которого $H = 15$ м (это и глубина котлована), имеет следующие значения физико-механических свойств: объемный вес $\gamma = 2$ т/м³, угол внутреннего трения $\varphi = 14^\circ$, удельное сцепление $c = 36$ кПа, модуль деформации $E_0 = 12$ МПа — это ИГЭ-1. Грунт основания котлована имеет следующие ФМС: объемный вес $\gamma = 2$ т/м³, угол внутреннего трения $\varphi = 20^\circ$, удельное сцепление $c = 68$ кПа, модуль деформации $E_0 = 24$ МПа — это ИГЭ-2. Величина коэффициента бокового давления при расчетах принята равной $\xi_0 = 0,75$.

На дневной поверхности котлована расположена равномерно распределенная нагрузка интенсивности $q = 1,5\gamma H$, которая приложена на расстоянии $L = 7,5$ м от его бровки, ширина нагружаемого участка $b = 15$ м.

Для численного решения задачи составлена механико-математическая модель метода конечных элементов и расчетная схема МКЭ, которая состоит из 15 300 КЭ, сопряженных в 7839 узлах, ширина матрицы жесткости системы равна 136 (см. рис. 3, а).

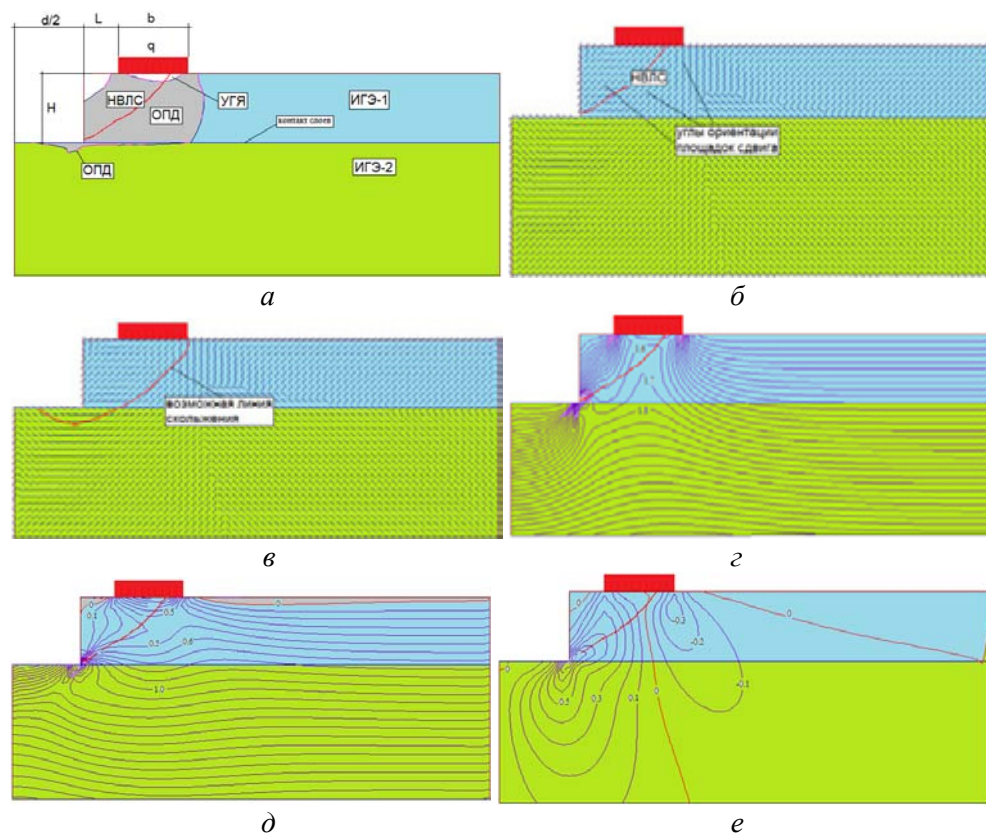


Рис. 3. Области пластических деформаций и наиболее вероятная линия скольжения (а), наиболее вероятные площадки сдвига (б), линия скольжения, пересекающая оба слоя грунта (в), картины изолиний безразмерных (в долях γh) вертикальных σ_z (г), горизонтальных σ_x (д) и касательных τ_{zx} (е) напряжений в грунтовом массиве

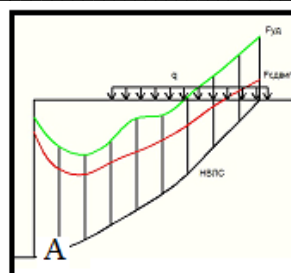
На рис. 3 изображены области пластических деформаций и наиболее вероятная линия скольжения (рис. 3, а), наиболее вероятные площадки сдвига (рис. 3, б), линия скольжения, пересекающая оба слоя грунта (рис. 3, в), и картины изолиний безразмерных (в долях γh) вертикальных σ_z , горизонтальных σ_x и касательных τ_{zx} напряжений в грунтовой массе, построенные при помощи программы [18] (рис. 3, з, 3, д и 3, е соответственно).

Из рис. 3, а видно, что практически вся грунтовая масса, находящаяся под нагрузкой, находится в предельном (пластическом) состоянии. Если не учитывать это обстоятельство и определить величину коэффициента запаса устойчивости вертикального борта котлована K исходя из условия упругого распределения напряжений, как это делается при использовании традиционных методов расчета устойчивости, то получим $K = 0,55$.

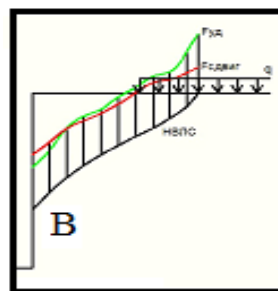
Используя известный прием [19] повышения расчетных значений величин удельного сцепления и тангенса угла внутреннего трения в $K/K_{пр}$ раз, определим такие значения C и φ , при которых расчетное значение величины коэффициента запаса устойчивости борта котлована будет принимать значения $K = 1,2; 1,1; 1,01$. Гипотетически устойчивое состояние откоса в этих случаях будут обеспечивать «фиктивные» удерживающие силы, соответствующие увеличенным в $K/K_{пр}$ раз прочностным характеристикам грунта.

Элементы ограждения котлована рассчитываются на величины «фиктивных» сдвигающих сил, равных разности величин «фиктивной» удерживающей силы и реальной удерживающей силы, вычисленных для одной и той же линии скольжения (см. выше).

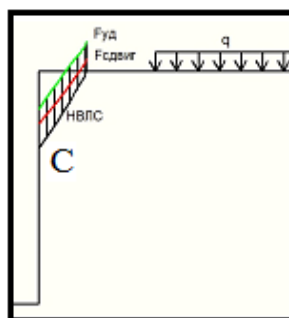
На рис. 4—6 изображены наиболее вероятные линии скольжения и соответствующие им эпюры удерживающих и сдвигающих сил, построенные для вертикального борта котлована, параметры



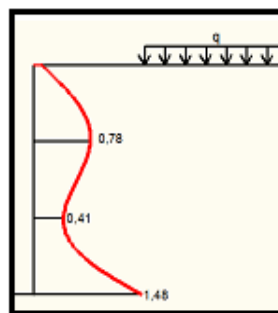
а



б



в



г

Рис. 4. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные из точек А (а); В (б); С (в), соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил и эпюра сил бокового давления грунта (г) при условии, что $K_A = K_B = K_C = 1,2$

которого описаны выше, для трех значений обеспечиваемой величины коэффициента запаса устойчивости $K = 1,2; 1,1; 1,01$.

В результате проведения вычислений построены эпюры горизонтального давления на гипотетическую вертикальную подпорную стенку, которые приведены на рис. 4—6 (з). Отметим, что ординаты эпюры приведены в долях γh и имеют размерность т/м^2 .

Следует отметить, что эпюры горизонтального давления, полученные нами, весьма близки по форме соответствующим эпюрам, полученным В. Ф. Раюком при проведении лабораторных исследований [20] (рис. 7, а, б). А линии скольжения и призмы скольжения очень близки по форме соответствующим элементам, приведенным на фотографиях (рис. 7, в, з), которые получены также в результате экспериментальных изысканий И. Я. Лучковским и Д. А. Чепурным [21].

Проведем теперь сопоставление полученных нами результатов с результатами расчетов, проводимых общепринятым методом [22], для чего подберем сечения стандартных стальных прокатных профилей, которые приведем ниже.

Для вычисления ординат эпюры активного давления на шпунтовое ограждение воспользуемся известной формулой [22]

$$q = (\gamma z + q) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (13)$$

где z — вертикальная координата, отсчитывая вниз от дневной поверхности грунта; q — интенсивность временной нагрузки.

Полученная эпюра активного давления грунта имеет вид, приведенный на рис. 8.

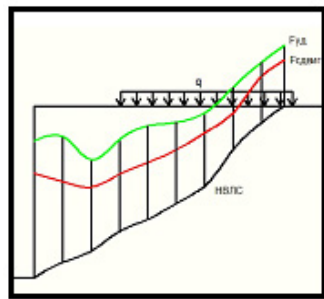
Отметим, что при расчете величины активного давления мы не учитывали того факта, что временная нагрузка находится на некотором расстоянии от бровки котлована, что естественно идет в запас прочности.

Считая, что шпунтовое ограждение работает как вертикальная жестко заземленная балка, и определив максимальную величину изгибающего момента равной $M_{\max} = 324,375$ кНм, исходя из условия прочности выбираем по сортаменту ГОСТ¹ двутавровую балку № 20а, имеющую геометрические размеры $H = 200$ мм; $B = 110$ мм и осевой момент сопротивления $W_x = 203$ см³. Рассматривая сечение шпунта в виде швеллера, по сортаменту выбираем швеллер № 22а с геометрическими размерами $H = 220$ мм; $B = 87$ мм и осевым моментом сопротивления $W_x = 212$ см³.

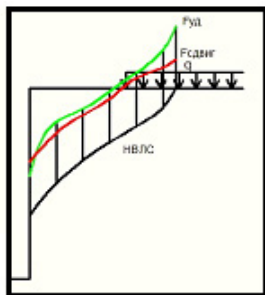
Для удобства сопоставления результатов расчетов сведем их в единую таблицу (табл. 2), расположив в том же порядке, в каком проводился расчет. Используя приведенные в ГОСТ² данные о весе одного погонного метра прокатной балки и проведя несложные расчеты, определим, что в случае применения в качестве элемента ограждающей конструкции стального швеллера экономия (в пересчете на вес стали) составит 29,0...41,5 % по сравнению с результатами расчетов по общепринятой методике [22]. Если в качестве элемента ограждения используется шпунт двутаврового сечения, то соответствующая экономия металла составляет 13,7...35,0 %.

¹ ГОСТ 19425—74. Балки двутавровые и швеллеры стальные специальные (сортамент). М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.

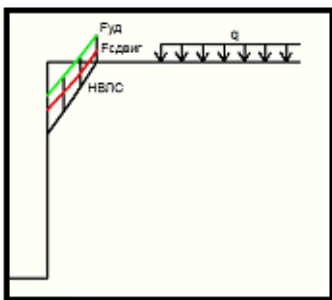
² Там же.



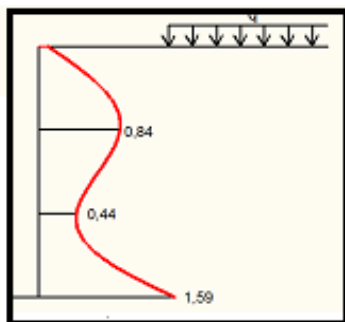
a



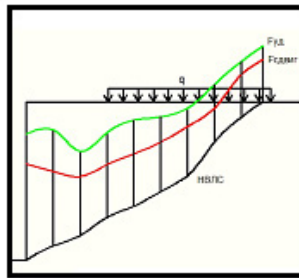
б



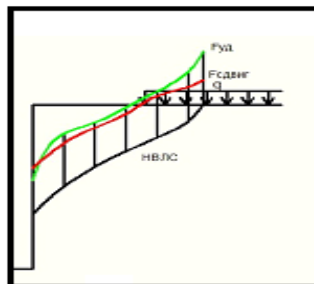
в



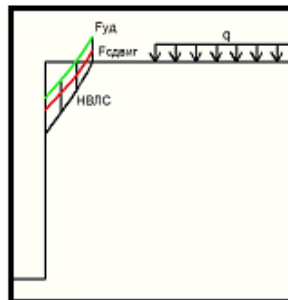
z



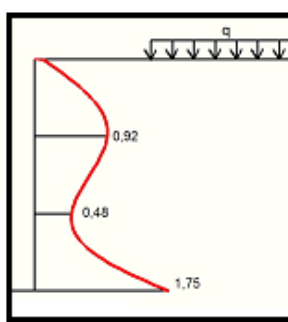
a



б



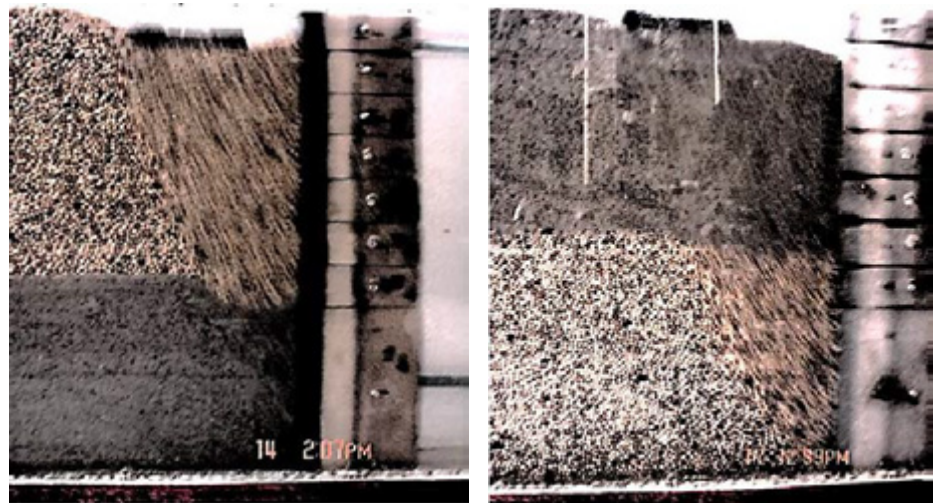
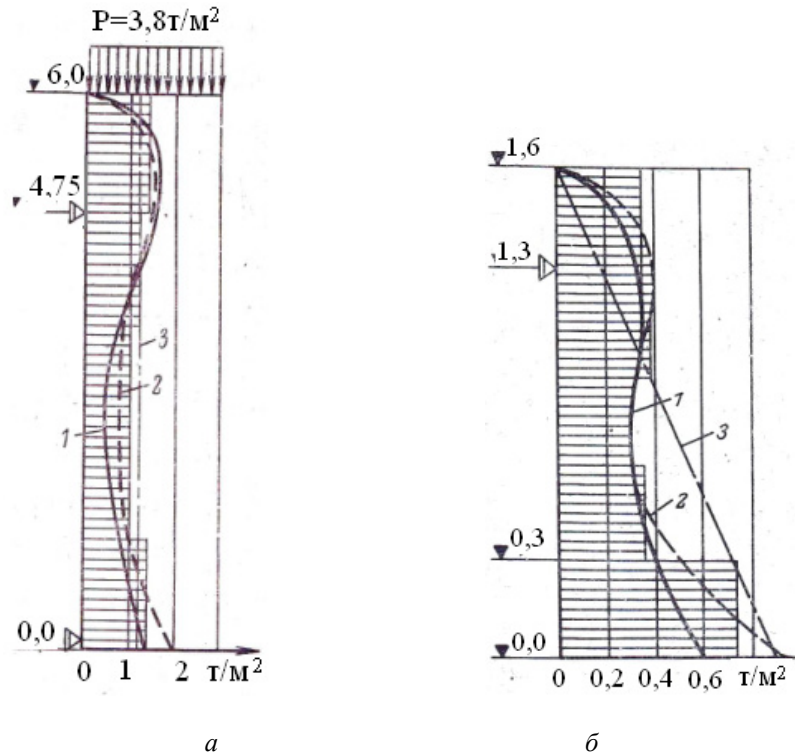
в



z

Рис. 5. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные из точек А (*a*); В (*б*); С (*в*), соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил и эпюра сил бокового давления грунта (*z*) при условии, что $K_A = K_B = K_C = 1,1$

Рис. 6. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные из точек А (*a*); В (*б*); С (*в*), соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил и эпюра сил бокового давления грунта (*z*) при условии, что $K_A = K_B = K_C = 1,01$



а

б

Рис. 7. Криволинейные эпюры бокового давления, полученные при проведении лабораторных исследований: при наличии временной нагрузки на поверхности засыпки (а) и без нее (б) (цит. по работе [20]); фотографии линий и призм скольжения в нагруженной полосовой нагрузкой двухслойной засыпке модели подпорной стенки: просо-песок (а), песок-просо (б) (цит. по работе [21])

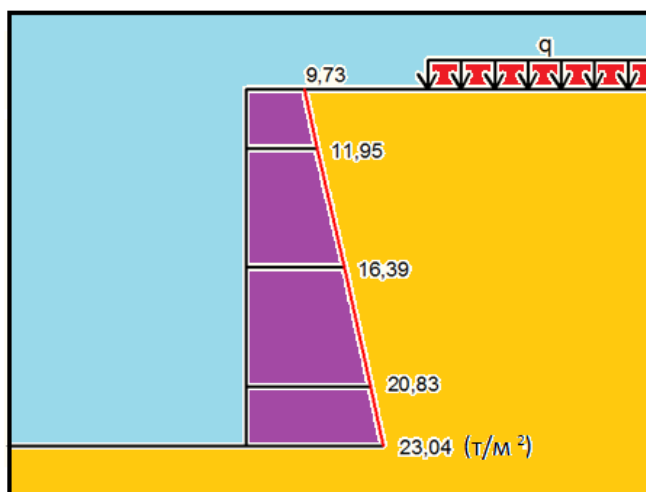


Рис. 8. Трапециевидная эпюра активного давления грунта для рассмотренного случая по Г. К. Клейну [22]

Таблица 2

Результаты расчетов

Расчетный метод	K	Сортамент	
		Швеллер	Двутавр
Оползневого давления (предлагасмый)	1,2	№ 14; H = 140 мм; B = 58 мм	№ 14; H = 140 мм; B = 73 мм
	1,1	№ 14; H = 140 мм; B = 58 мм	№ 14; H = 140 мм; B = 73 мм
	1,01	№ 14а; H = 140 мм; B = 62 мм	№ 14; H = 140 мм; B = 73 мм
По Г. К. Клейну [22]	—	№ 22а; H = 220 мм; B = 87 мм	№ 20а; H = 200 мм; B = 110 мм

Выводы

1. Предложен новый метод определения величины сил оползневого давления и давления грунта борта глубокого котлована, основанный на анализе напряженного состояния грунтового массива на основе методов теории функций комплексного переменного для однородных грунтовых массивов, и конечных элементов — для неоднородных.

2. Результаты многочисленных расчетов говорят о том, что форма эпюры оползневого давления $E_{оп}$ является функцией напряженного состояния грунтового массива и физико-механических свойств слагающих грунтов.

3. Форма эпюры горизонтального давления грунта борта котлована на шпунтовое ограждение, полученная при проведении расчетов, полностью совпадает с формой соответствующей эпюры, полученной независимо от нас другими авторами при проведении физического эксперимента.

4. Использование предложенного подхода для определения сил давления на шпунтовое ограждение позволяет получить (для условий рассмотренного в работе примера) экономию по металлу в размере 13,7...41,5 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966.
2. Угодчиков А. Г. Построение конформно отображающих функций. Киев : Наукова думка, 1966. 77 с.
3. Богомолов А. Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
4. Wang F. D., Sun M. C., Ropchan D. M. Computer Program for Pit Slope Stability Analysis bei the Fenite Element Stress Analysis and Limiting Eguilibrium Mehtod // RJ 7685. Burean of Mints, 1972.
5. Zienkiewicz O. C. The finite element method in engineering science. London : McGraw-Hill, 1971. 531 p.
6. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. The finite element method. Vol. 2. Solid and structural mechanics. Oxford : Butterworth Heinemann, 2000. 459 p.
7. Desai C. S., Lightner J. G. Mixed fenite element procedure for Soil-Structure iteration and construction seguences // Inter. J. for Numerical Mhetods in Engineering. 1985. Vol. 21. No. 5.
8. Nakoto S., Kiyoshi J. Probabilistic finite element method for Slopes stability analysis // Proc. Jap., Soc. Civil Engineering. 1985. No. 364.
9. Szmelter J., Dacko M., Dobrociński S., Wieczorek M. Metoda elementón skończonych w statyce konstrukcji. Warszawa : Wydawnictwo Arkady, 1979. 219 s.
10. 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. Paris, 1773. 233 p.
11. Coulomb C. A. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture // Mem. Acad. Roy. Div. Sav. 1776. Vol. 7. Pp. 343—387.
12. Cagout G. Eguilibre des massifs a frottement interne. Paris, 1934.
13. Федоров И. В. Некоторые задачи упругопластического распределения напряжений в грунтах, связанные с расчетом оснований // Инженер. сб. Ин-та механики АН СССР. 1958. Т. 27.
14. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1979.
15. Bogomolov A. N., Vikhareva O. A., Ushakov A. N., Shiyan S. I. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction : Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk, 2007. Pp. 281—285.
16. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М. : ВШ, 1978. 447 с.
17. МТФКПА : свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2015617889 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. В. Редин ; заявл. 22.06.2015 ; зарег. 28.09.2015.
18. FEA : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 от 23 июля 2015 г. / А. Н. Богомолов и др.
19. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции. М. : Стройиздат, 1979. 80 с.
20. Раюк В. Ф. Расчет бокового давления грунта на вертикальную грань подпорной стенки с учетом ее деформации и смещения // Гидротехническое строительство. 1968. № 9. С. 35—40.
21. Лучковский И. Я., Чепурной Д. А. Распределение горизонтального давления грунта на подпорные стены при многослойном основании // Науковий вісник будівництва : зб. наук. праць. 2009. Вип. 54-Х. С. 281—285.
22. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. М. : Госстройиздат, 1956. 252 с.

© Богомолова О. А., Жиделев А. В., Богомолов С. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Богомолова О. А., Жиделев А. В., Богомолов С. А. Определение сил оползневой нагрузки и давления на шпунтовое ограждение котлована на основе анализа напряженного состояния грунтового массива // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 6—21.

Об авторах:

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; banzaritcyn@mail.ru

Жиделев Андрей Викторович — канд. техн. наук, доц., директор филиала «Взлет» Московского авиационного института (МАИ) в г. Ахтубинске. Российская Федерация, 416501, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5; red_scorpion@list.ru

Богомолов Сергей Александрович — канд. техн. наук, старший преподаватель каф. сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, РГАУ — МСХА им. К. А. Тимирязева. Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; bsargau@mail.ru

Oksana A. Bogomolova^a, Andrey V. Zhidelev^b, Sergey A. Bogomolov^c

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Branch of Moscow Aviation Institute (National Research University) "Vzlet"*

^c *Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

DETERMINATION OF THE FORCES OF LANDSLIDE PRESSURE AND PRESSURE ON THE SHEET PILE FENCE OF THE PIT BASED ON THE ANALYSIS OF THE STRESSED STATE OF THE SOIL MASSIF

The article discusses a method for determining the forces of landslide pressure and the forces of the pressure of the ground side of the pit on the sheet pile fence, which, in fact, is the same. The construction of sliding lines is carried out on the basis of the analysis of the stress state of the near-slope (instrument) zone. The shapes of the pressure plots are not set in advance, but are defined as functions of the geometric parameters of the object under study, its stress state and the physico-mechanical properties of the composing soils. For homogeneous slopes, it is recommended to use the analytical solution of the first boundary value problem of elasticity theory for a weighty half-plane, obtained on the basis of the methods of the theory of functions of a complex variable, and for inhomogeneous ones — numerical methods, in particular, the finite element method. It is established that the shape of the plot of the horizontal pressure of the ground of the side of the pit on the sheet pile fence, obtained during the calculations, completely coincides with the shape of the corresponding plot, obtained independently of us, by other authors during the physical experiment. Using the proposed approach to determine the pressure forces on the sheet pile fence allows you to obtain (for the conditions of the example considered in the paper) savings on metal in the amount of 13.7...41.5 %.

Key words: landslide pressure, pressure on the enclosing structure, stress state, lateral pressure coefficient and physical and mechanical properties of the soil, methods of the theory of functions of a complex variable, finite element method, pressure plots.

For citation:

Bogomolova O. A., Zhidelev A. V., Bogomolov S. A. [Determination of the forces of landslide pressure and pressure on the sheet pile fence of the pit based on the analysis of the stressed state of the soil massif]. *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. 4, pp. 6—21.

About authors:

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

Andrey V. Zhidelev — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Branch of Moscow Aviation Institute (National Research University) "Vzlet". 5, Dobrolyubova st., Akhtubinsk, Astrakhan region, 416501, Russian Federation; red_scorpion@list.ru

Sergey A. Bogomolov — Candidate of Engineering Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; bsargau@mail.ru

УДК 624.131

О. А. Богомолова^а, А. В. Жиделев^б, С. А. Богомолов^в

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Филиал «Взлет» Московского авиационного института (МАИ) в г. Ахтубинске*

^в *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева*

МЕТОД ВИРТУАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАГРУЖЕННЫХ ОТКОСОВ

На протяжении многих лет расчет устойчивости однородных откосов проводится на основе методов, в основу которых положена гипотеза о круглоцилиндрической форме поверхности (линии) скольжения, выдвинутая К. Петтерсоном в 1916 г. Во второй трети прошлого столетия развитие получили методы расчета, основанные на анализе напряженно-деформированного состояния приоткосной области, в том числе и методы, использующие принцип возможных перемещений (принцип Лагранжа). До недавнего времени при использовании принципа Лагранжа перемещения точек, лежащих на наиболее вероятной линии скольжения, определялись как сумма перемещений от собственного веса грунта и внешней нагрузки. Такой подход нам представляется не совсем правильным, так как перемещения от собственного веса грунта формируются на протяжении всего периода существования грунтового массива и потому истинные их значения не могут быть достоверно определены методами теории упругости. Кроме того, эти перемещения уже были реализованы еще до приложения нагрузки от возводимого сооружения. На основании это разработан алгоритм решения задачи, который формализован в компьютерной программе, разработанной авторами с коллегами. В работе приведены доведенные до числа примеры расчета устойчивости нагруженных откосов, дано сравнение полученных результатов с результатами, полученными при использовании других подходов. Установлено, что для нагруженных откосов, рассмотренных в настоящей работе, использование предложений авторов снижает величину коэффициента запаса устойчивости примерно на 10 %. При других параметрах исследуемого объекта разница может быть существенно больше.

К л ю ч е в ы е с л о в а: нагруженный однородный грунтовой откос, коэффициент запаса устойчивости в точке, глобальный коэффициент запаса устойчивости, метод возможных перемещений, физико-механические свойства грунта, коэффициент бокового давления, базовая эпюра.

Введение

На протяжении многих лет расчет устойчивости однородных откосов проводится на основе методов, в основу которых положена гипотеза о круглоцилиндрической форме поверхности (линии) скольжения, выдвинутая К. Петтерсоном в 1916 г. [1, 2]. Эти методы постоянно модернизируются, но это не избавляет их от ряда существенных недостатков, одним из которых является то, что при расчете учитывается (и лишь приблизительно) только одна вертикальная составляющая напряжения, действующего в точке приоткосной области, т. е. расчет проводится без учета напряженного состояния грунтового массива.

Известны методы расчета устойчивости откосов, основанные на анализе напряженного состояния грунтового массива [3, 4], причем напряжения в приоткосной области могут быть определены на основе аналитических решений краевых задач теории упругости методами теории функций комплексного переменного [3, 4] или численными методами, например МКЭ.

Используя условие пластичности Кулона [5, 6] в виде, предложенном Како [7], можно получить выражение для вычисления величины коэффициента запаса устойчивости в любой точке грунтовой толщи:

$$K = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz} \sin 2\alpha + \sigma_{св} \right] \operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha + \tau_{xz} \cos 2\alpha}, \quad (1)$$

где σ_z , σ_x , τ_{xz} — безразмерные (в долях γH) компоненты напряжения, действующие в рассматриваемой точке; $\sigma_{св} = c(\gamma H \operatorname{tg} \varphi)^{-1}$ — приведенное давление связности; C , φ , γ и H — сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес грунта и высота откоса соответственно; α — угол наклона касательной к наиболее вероятной линии скольжения в данной точке (угол ориентации наиболее вероятной площадки сдвига).

Угол наклона площадки сдвига, при котором значение K принимает минимальное значение, определяется из условий (2) по формуле (3) [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \alpha} &= 0; \\ \frac{\partial^2 K}{\partial \alpha^2} &> 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\sin 2\alpha_{1;2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}}, \quad (3)$$

где $B = (\sigma_z + \sigma_x + 2\sigma_{св})$; $D = 4\tau_{xz}^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2$.

Отметим, что в работе [4] предложены еще два способа определения угла ориентации наиболее вероятной площадки сдвига.

Глобальный коэффициент устойчивости откоса по наиболее вероятной линии скольжения (НВЛС) определяется по формуле

$$K = \frac{\int_0^l F_{уд}(S) ds}{\int_0^l F_{сд}(S) ds}, \quad (4)$$

где $F_{уд}$ и $F_{сд}$ — удерживающие и сдвигающие силы в точках НВЛС, определяемые числителем и знаменателем формулы (1) соответственно; S — дуговая координата точки НВЛС.

Методики построения наиболее вероятных линий скольжения подробно изложены в работах [3, 4]. Необходимо отметить, что в их основу положены предложения, сделанные в работе [8]. Эти методики позволяют сразу, без проведения дополнительных расчетов и построений, отыскать такую линию скольжения, которая заведомо будет обладать минимальным значением величины коэффициента запаса устойчивости при условии, что его вычисление будет выполняться по формулам (1)—(4).

Тем не менее многие исследователи продолжают изыскания с целью совершенствования расчетных методов.

I. Расчет устойчивости откосов на основе метода виртуальных перемещений

Еще во второй половине прошлого столетия многие ученые обращались к методу виртуальных перемещений с целью построения на его основе метода расчета устойчивости откосов.

Принцип возможных перемещений (принцип Лагранжа) [8] — один из основных принципов механики, выражающий общее условие равновесия механической системы. Он широко используется при статических исследованиях материальных систем, при этом действие наложенных на систему связей учитывается введением соответствующих реакций.

Именно этот принцип был положен в основу методов расчета устойчивости откосов [9—12], однако здесь перемещения точек, лежащих на наиболее вероятной поверхности скольжения, не назначаются на основе анализа напряженного состояния приоткосной области, а произвольно варьируются по величине и направлению до достижения условия $K = K_{\min}$. Понятно, что при таком подходе количество «решений» задачи может быть бесконечно большим: можно построить сколько угодно линий скольжения, назначая величины перемещений различных ее точек так, чтобы значения глобального коэффициента запаса K были одинаковыми. И какими эти коэффициенты запаса должны быть? Ведь можно построить такую линию скольжения, что величина K получится меньше той, что есть в действительности.

Кроме того, разработчиками этих методов сделаны не вполне корректные допущения:

- призма скольжения разбивается на отдельные блоки, силы взаимодействия и трения между которыми редко учитываются; ориентация этих сил и положение точек их приложения ничем не обосновываются, а назначаются произвольно, чтобы сделать статически неопределимую задачу о равновесии блоков статически определимой;
- форма и положение поверхности разрушения принимаются заранее известными; в процессе решения задачи не устанавливается их непосредственная связь с физико-механическими свойствами грунтов, геометрией откоса, поверхностными нагрузками;
- практически всегда учитывается лишь одна (и то приближенно в виде веса отсека) вертикальная σ_z составляющая напряжений в точках приоткосной зоны;
- рассматривается полубесконечный откос (не учитывается факт концентрации напряжений в области перехода откоса в подошву); известные методы расчета не позволяют учесть взаимное влияние откосов насыпей и выемок на их устойчивость, так как в расчетной схеме основание откоса не учитывается, а дневная поверхность откоса бесконечна, и т. д.;
- в расчетах устойчивости не учитывается такая важная величина, как коэффициент бокового давления грунта ξ_0 . Все это делает необходимым поиск новых решений задачи об устойчивости откосов с использованием метода виртуальных перемещений, которые основывались бы на анализе напряженно-деформированного состояния грунтового массива.

В работе Н. Н. Потаповой предложен метод расчета устойчивости нагруженных откосов, в котором построение наиболее вероятной линии

скольжения проводится согласно методикам [3, 4], а величина коэффициента запаса устойчивости в точке грунтового массива определяется как отношение работ соответствующих удерживающих и сдвигающих сил*. Величина глобального коэффициента запаса устойчивости K вычисляется по формуле, аналогичной формуле (1), как отношение алгебраических сумм работ удерживающих и сдвигающих сил, действующих в точках наиболее вероятной линии скольжения:

$$K = \frac{\sum A_{i\text{уд}}}{\sum A_{i\text{сд}}} = \frac{\sum (F_{i\text{уд}} \delta_i \cos \alpha_{i\text{уд}})}{\sum (F_{i\text{сд}} \delta_i \cos \alpha_{i\text{сд}})}, \quad (5)$$

где $F_{i\text{уд}}$, $F_{i\text{сд}}$ — удерживающие и сдвигающие силы соответственно, определяемые числителем и знаменателем формулы (1) соответственно; δ_i и $\alpha_{i\text{уд}}$, $\alpha_{i\text{сд}}$ — полное перемещение и углы между положительными направлениями удерживающей и сдвигающей силы и направлением вектора полного перемещения в i -й точке поверхности (линии) скольжения соответственно.

Считаем, что выражение (5) не вполне корректно, так как здесь в расчет принимаются полные перемещения точек, складывающиеся из перемещений от внешней нагрузки и собственного веса грунта. Природные перемещения от собственного веса грунта формируются на протяжении всего периода существования грунтового массива и потому истинные их значения не могут быть достоверно определены методами теории упругости, что, несомненно, сказывается на достоверности получаемого результата. Игнорирование этого обстоятельства может привести к получению при расчете завышенных или, напротив, заниженных коэффициентов запаса, что может негативно сказаться на проектных решениях, и, как следствие, может быть не обеспечена безаварийная эксплуатация грунтового сооружения.

Но и на этом проблемы не заканчиваются. Рассмотрим пример. На рис. 1 изображен однородный откос с углом $\beta = 45^\circ$, сложенный глинистым грунтом. Высота откоса и значения физико-механических свойств слагающего грунта таковы, что при $\varphi = 25^\circ$ величина приведенного давления связности $\sigma_{\text{св}} = 0,3$. Величина коэффициента бокового давления при проведении расчетов принята равной $\xi_0 = 0,75$, что является средним значением для глинистых грунтов [13].

Численные значения напряжений, построение наиболее вероятной линии скольжения и вычисление величины коэффициента запаса устойчивости выполнены при помощи компьютерной программы FEA [14], в которой в том числе формализован и подход, предложенный в работе [11].

На рис. 1, а изображена наиболее вероятная линия скольжения и площадки сдвига, построенные на основании метода, предложенного в работе [4], а на рис. 1, б — кулоновские области пластических деформаций. Из последнего рисунка видно, что НВЛС пререзает пластическую область, причем размер этой ОПД очень большой, что гарантирует разрушение

* *Потапова Н. Н.* Оценка устойчивости грунтовых откосов и несущей способности оснований сооружений на основе анализа распределения напряжений и перемещений: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2001. 205 с.

возводимого на откосе сооружения и самого откоса. При этом численные значения коэффициентов запаса устойчивости, вычисленных при помощи формул (1)—(4) и методики [12], равны $K_1 = 1,4356$ и $K_2 = 1,3522$ соответственно ($K_2 < K_1$ на 6,5 %), что, казалось бы, должно обеспечивать устойчивость объекта. Налицо противоречие. Что же делать в такой ситуации?

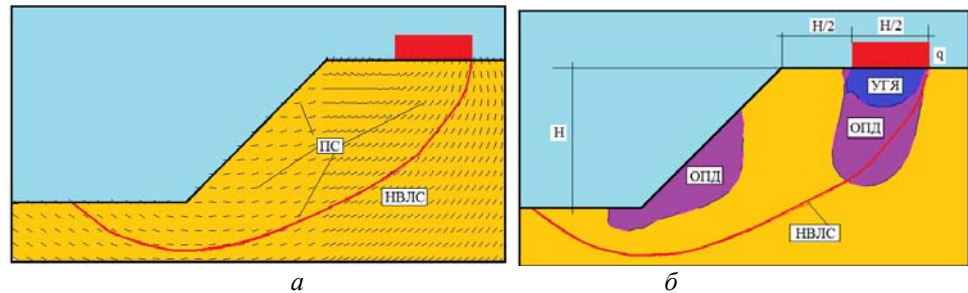


Рис. 1. Наиболее вероятная линия скольжения и площадки сдвига (а) и кулоновские области пластических деформаций (б) в теле однородного откоса

II. Предложения для решения задачи

При проектировании грунтовых откосов необходимо контролировать напряженное состояние грунтового массива и наличие в его теле пластических областей. Определить наличие ОПД можно двумя способами: использовать условие пластичности Кулона или решить соответствующие упругопластические (в том числе и смешанные) задачи. Первый способ общеизвестен, а второй применяется для таких целей еще достаточно редко. В настоящей работе мы рассмотрим первый вариант.

На рис. 2 изображен однородный откос, имеющий прежние геометрические параметры, но физико-механические свойства слагающего грунта таковы, что при $\varphi = 29^\circ$ величина приведенного давления связности равна $\sigma_{св} = 0,33$, коэффициент бокового давления грунта $\xi_0 = 0,55$. Ориентация площадок скольжения (рис. 2, а, в) дает основания предположить, что разрушение откоса может происходить по двум сценариям: образование оползня, влекущее за собой сползание призмы скольжения вместе с возводимым сооружением вниз влево и опрокидывание возводимого сооружения, обусловленное выпором грунта из-под фундамента вверх вправо. Как видно из рис. 2, б, г, области пластических деформаций малы. Левая ОПД может спровоцировать лишь небольшой локальный вывал грунта, который не окажет влияния на устойчивость всего откоса. Наличие правой пластической области может вызвать ненормативные осадки возводимого сооружения, но на величину коэффициента запаса устойчивости основания не повлияет, т. е. линия выпора грунта EF ее не пересекает.

Рассматривая наиболее вероятную линию скольжения $ABCD$, видим, что она пересекает пластическую область по линии BC . Ведь в точках пластической области численные значения напряжений отличаются от соответствующих значений, найденных на основе решения задач теории упругости. И если говорить строго, то и вокруг пластической области происходит перераспределение напряжений. Как в этом случае вычислять величину коэффициента устойчивости?

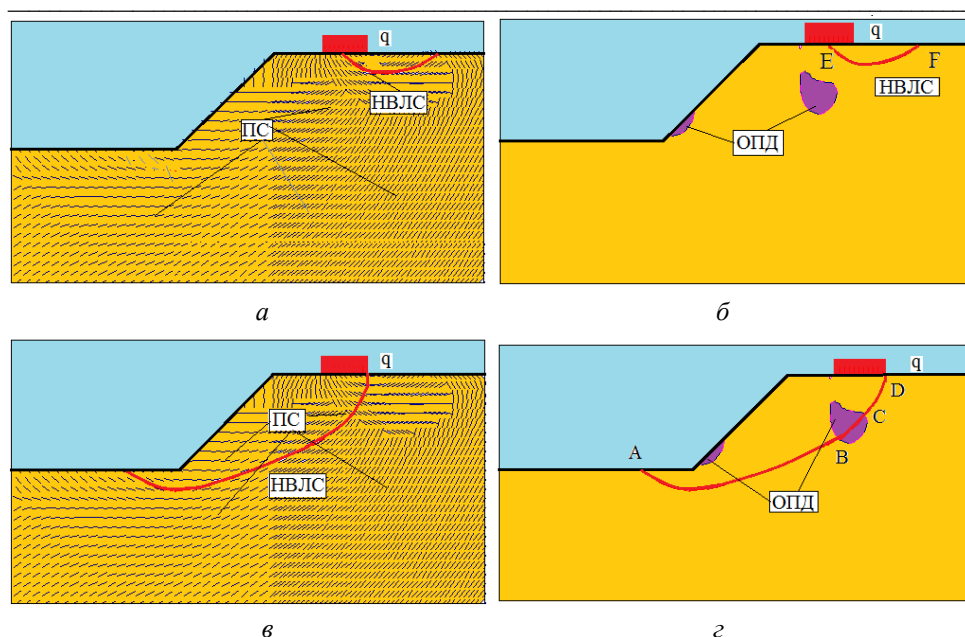


Рис. 2. Площадки сдвига, наиболее вероятные линии скольжения и области пластических деформаций в исследуемом однородном грунтовом откосе

Нами предлагается следующая последовательность вычисления величины коэффициента запаса устойчивости:

1. Составляется расчетная схема метода конечных элементов, к которой предъявляются требования: сетка КЭ должна быть максимально однородной, содержать максимальное количество элементов при условии минимальности ширины матрицы жесткости системы; размеры конечно-элементной схемы должны быть такими, чтобы максимально исключить влияние граничных условий на результат вычисления.

2. Вычисляются напряжения, и проводится контроль наличия или отсутствия областей пластических деформаций.

3. Если ОПД отсутствуют или их размеры малы, то проводится построение наиболее вероятной линии скольжения на основании методик, изложенных в работах [3, 4].

4. На НВЛС выбирается n -е количество точек так, чтобы горизонтальные координаты каждой следующей точки были на $0,05H$ больше, чем предыдущей (такой шаг построения определен как оптимальный на основе анализа результатов многочисленных вычислений), и вычисляют во всех этих точках величины удерживающих и сдвигающих сил, которые определяются числителем и знаменателем формулы (1) соответственно, и перемещения от собственного веса грунта и от совместного веса грунта плюс нагрузка от сооружения.

5. Формула (5) переписывается в виде (6), после чего вдоль НВЛС строят эпюры работ удерживающих — числитель формулы (6) — и сдвигающих — знаменатель формулы (6) — сил, отношение площадей которых определяет величину коэффициента запаса устойчивости откоса:

$$K = \frac{\sum A_{i \text{ уд}}}{\sum A_{i \text{ сд}}} = \frac{\sum (F_{i \text{ уд}} (\Delta_i - \delta_i) \cos \alpha_{i \text{ уд}})}{\sum (F_{i \text{ сд}} (\Delta_i - \delta_i) \cos \alpha_{i \text{ сд}})}, \quad (6)$$

где δ_i и Δ_i — соответственно полное перемещение i -й точки наиболее вероятной линии скольжения, вычисленное от действия собственного веса грунта и от совместного действия собственного веса грунта и нагрузки от сооружения.

Если размеры пластических областей таковы, что их необходимо учесть (см. рис. 2, z) при вычислении величины коэффициента запаса устойчивости (необходимость учета этого фактора отражена также в работе [15]), то выполняются первые четыре пункта, тогда как при построении эпюр работ удерживающих и сдвигающих сил следует поступать следующим образом. Эпюры удерживающих и сдвигающих сил будут состоять из трех частей каждая, которые строятся на участках наиболее вероятной линии скольжения AB , BC и CD . Участки AB и CD находятся вне области пластических деформаций, а участок BC прорезает ее. Поэтому на участках AB и CD эпюры будут строиться так, как написано в п. 5.

Известно, что в пластической области все площадки скольжения равноправны, так как величина коэффициента запаса устойчивости в любой точке, находящейся внутри ОПД, по любой проходящей через эту точку площадке равна $K_{\text{пл}}^T = 1$, так как удерживающие и сдвигающие силы одинаковы. Поэтому по любому отрезку кривой, в том числе BC , находящемуся внутри пластической области, коэффициент запаса также равен 1. В связи с этим считаем, что участок BC при прорезании пластической области не меняет своей формы и положения, хотя строится по «упругим» напряжениям. Необходимо принять одно допущение, касающееся величин удерживающих и сдвигающих сил на участке BC . Так как мы не решаем «смешанную» задачу, а работаем с упругими напряжениями, значения удерживающих и сдвигающих сил во всех точках отрезка BC будут разными. Поэтому для участка BC предлагается следующий прием: на этом участке строятся эпюры работ удерживающих и сдвигающих сил по упругим напряжениям. Определяются их площади и сравниваются по величине. Эпюра, площадь которой меньше (это идет в запас устойчивости), принимается за базовую, другими словами, эта эпюра одновременно является и эпюрой работ и удерживающих, и сдвигающих сил в пластической области. Она встраивается между «правильными» эпюрами (рис. 3, a).

Тогда величина коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса может быть вычислена с учетом формул (1)—(3) и (6) следующим образом:

$$K = \frac{S_{AB}^{\text{уд}} + S_{BC}^{\text{баз}} + S_{CD}^{\text{уд}}}{S_{AB}^{\text{сдв}} + S_{BC}^{\text{баз}} + S_{CD}^{\text{сдв}}}, \quad (7)$$

где $S_{AB}^{\text{уд}}$, $S_{CD}^{\text{уд}}$, $S_{AB}^{\text{сдв}}$, $S_{CD}^{\text{сдв}}$, $S_{BC}^{\text{сдв}}$ — площади эпюр работ удерживающих и сдвигающих сил на участках НВЛС AB и CD соответственно; $S_{BC}^{\text{баз}}$ — площадь базовой эпюры работ.

Результаты этих вычислений для грунтового откоса, изображенного на рис. 2, приведены на рис. 3.

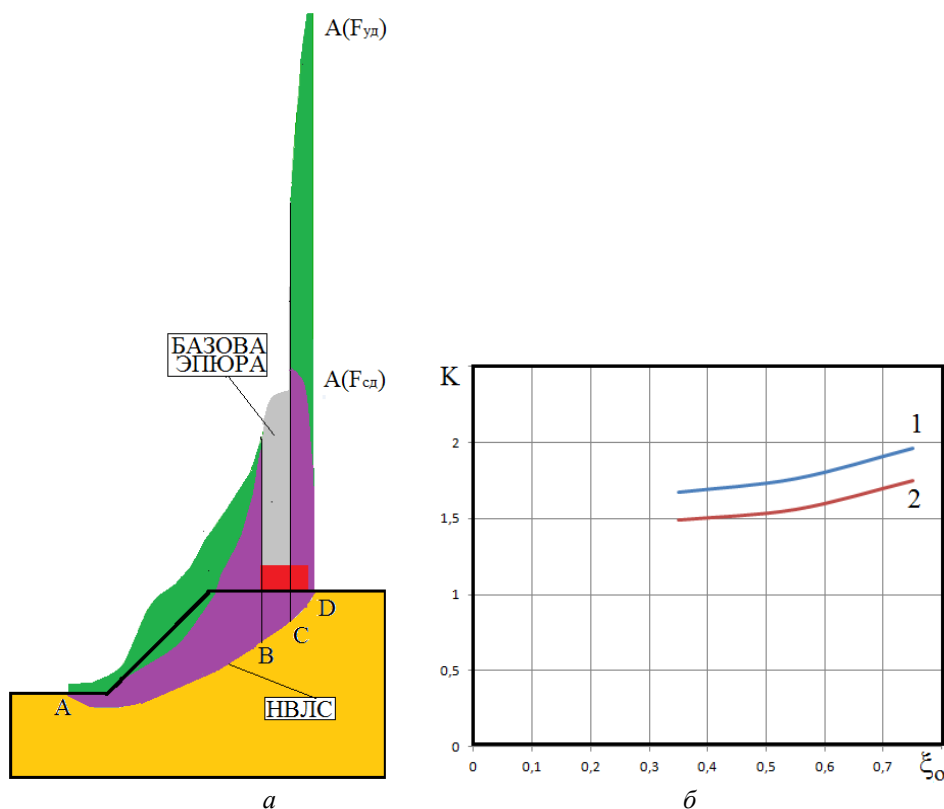


Рис. 3. Результат построения эпюр работ удерживающих и сдвигающих сил (а), графические зависимости вида $K = f(\xi_0)$ (б), полученные на основании методов [3, 4] с использованием формул (1)—(3) — линия 1 и на основе наших предложений и формул (1)—(3), (6), (7) — линия 2

На рис. 3, а изображены эпюры работ удерживающих и сдвигающих сил, а на рис. 3, б — графические зависимости величины коэффициента запаса устойчивости откоса K от численного значения коэффициента бокового давления ξ_0 для результатов, полученных на основании методов [3, 4] с использованием формул (1)—(3) — линия 1 и на основе наших предложений и формул (1)—(3), (6), (7) — линия 2. Отметим, что численные значения коэффициентов запаса устойчивости в первом случае равны $K_{0,35} = 1,67$; $K_{0,55} = 1,76$; $K_{0,75} = 1,96$, а во втором — $K_{0,35} = 1,49$; $K_{0,55} = 1,56$; $K_{0,75} = 1,75$, т. е. численные значения коэффициентов запаса устойчивости, вычисленные без учета образования пластических областей, примерно на 10 % больше соответствующих коэффициентов в случае, когда ОПД учитываются. Отметим, что увеличение коэффициента бокового давления грунта от 0,35 до 0,75 влечет за собой рост значений K в первом случае на 15 %, а во втором — на 17 %. Обе графические зависимости вида $K = f(\xi_0)$, приведенные на рис. 3, б, с точностью в 100 % аппроксимируются полиномом второй степени.

Отметим также, что все вычисления выполнены при помощи компьютерной программы [14], в которой формализованы все упомянутые выше процедуры.

Выводы

При определении кратковременной и длительной устойчивости откосов следует учитывать особенности напряженно-деформированного состояния грунтового массива, в частности процесс образования областей пластических деформаций. Нами показано, что в рассмотренных примерах учет этого фактора снижает величину коэффициента запаса устойчивости примерно на 10 %. На практике бывают случаи, когда эти 10 % могут оказаться критичными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Petterson K. E.* Kajraseti Goteborg des 5-te mars // *Tekniske Tidskrift*. 1916. Vol. 46.
2. *Petterson K. E.* The early history of circular sliding surface // *Geotechnique*. 1955. No. 5.
3. *Цветков В. К.* Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1979.
4. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
5. *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*. Paris, 1773. 233 p.
6. *Coulomb C. A.* Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture // *Mem. Acad. Roy. Div. Sav.* 1776. Vol. 7. Pp. 343—387.
7. *Сажоу Г.* Equilibre des massifs a frottement interne. Paris, 1934.
8. *Никитин С. Н.* Построение ожидаемой поверхности скольжения по напряжениям в бортах карьеров // *Уголь*. 1962. № 1. С. 36—38.
9. *Гольдштейн М. Н.* О применении вариационного исчисления к исследованию устойчивости оснований и откосов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1969. № 1. С. 2—6.
10. *Магдеев У. Х.* Исследование устойчивости откосов вариационным методом в условиях пространственной задачи // *Вопросы геотехники : сб. тр. ДИИТ*. Днепропетровск, 1972. С. 120—129.
11. *Дорфман А. Г.* Точное аналитическое решение новых задач теории устойчивости откосов // *Вопросы геотехники : межвуз. сб. науч. тр. ДИИТ*. Днепропетровск, 1977. С. 53—57.
12. *Korasy J.* Distribution des contraintes a la rupture, forme de la surface de glissement et hauteur theorique des talus // *Comp rend. V Congr. Internat. Mecan sols et trav. Fondat, Paris*, 1961. Vol. II.
13. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М. : ВШ, 1978. 447 с.
14. FEA : свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 от 23 июля 2015 г. / А. Н. Богомолов и др.
15. *Skempton A. W.* Long-term stability of clay slopes // *Geotechnique*. 1964. Vol. 14. No. 2. Pp. 77—101.

© Богомолова О. А., Жиделев А. В., Богомолов С. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Богомолова О. А., Жиделев А. В., Богомолов С. А. Метод виртуальных перемещений при оценке устойчивости нагруженных откосов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 4(89). С. 22—31.

Об авторах:

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; banzaritcy@mail.ru

Жиделев Андрей Викторович — канд. техн. наук, доц., директор филиала «Взлет» Московского авиационного института (МАИ) в г. Ахтубинске. Российская Федерация, 416501, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5; red_scorpion@list.ru

Богомолов Сергей Александрович — канд. техн. наук, старший преподаватель каф. сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, РГАУ — МСХА им. К. А. Тимирязева. Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; bsargau@mail.ru

Oksana A. Bogomolova^a, Andrey V. Zhidelev^b, Sergey A. Bogomolov^c

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Branch of Moscow Aviation Institute (National Research University) "Vzlet"*

^c *Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

THE METHOD OF VIRTUAL DISPLACEMENTS IN ASSESSING THE STABILITY OF LOADED SLOPES

For many years, the stability of homogeneous slopes has been calculated on the basis of methods based on the hypothesis of the circular cylindrical shape of the sliding surface (line), put forward by K. Petterson in 1916. In the second third of the last century, calculation methods based on the analysis of the stress-strain state of the slope region were developed, including methods using the principle of possible displacements (the Lagrange principle). Until recently, when using the Lagrange principle, the movements of points lying on the most unlikely slip line were defined as the sum of the deviations from the ground's own weight and external load. This approach does not seem to us to be quite correct, since displacements from the ground's own weight are formed throughout the entire period of the existence of the soil massif and therefore their true values cannot be reliably determined by the methods of elasticity theory. In addition, these movements have already been implemented even before the application of the load from the structure under construction. Based on this proposal, an algorithm for solving the problem has been developed, which is formalized in a computer program developed by the authors and colleagues. The paper presents examples, brought to a number, of calculating the stability of loaded slopes, and compares the results obtained with the results obtained using other approaches. It is established that for the loaded slopes considered in this paper, the use of the authors' proposals reduces the value of the stability margin coefficient by about 10 %. With other parameters of the object under study, the difference may be significantly greater.

Key words: loaded homogeneous soil slope, coefficient of stability margin at a point, global coefficient of stability margin, method of possible displacements, physical and mechanical properties of soil, lateral pressure coefficient, basic plot.

For citation:

Bogomolova O. A., Zhidelev A. V., Bogomolov S. A. [The method of virtual displacements in assessing the stability of loaded slopes]. *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. 4, pp. 22—31.

About authors:

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

Andrey V. Zhidelev — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Branch of Moscow Aviation Institute (National Research University) "Vzlet". 5, Dobrolyubova st., Akhtubinsk, Astrakhan region, 416501, Russian Federation; red_scorpion@list.ru

Sergey A. Bogomolov — Candidate of Engineering Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; bsargau@mail.ru

УДК 624.131.1:624.131.22

Ю. И. Олянский^а, А. В. Татаркин^б, Е. В. Щекочихина^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Пермский государственный национальный исследовательский университет*

НАБУХАЮЩИЕ СВОЙСТВА САРМАТСКИХ ГЛИН

Дана характеристика набухающих свойств сарматских глин, распространенных в двух регионах южной окраины Русской плиты: Ставропольской и Центрально-Молдавской возвышенностях. Установлена взаимосвязь показателей вещественного состава и физических свойств глин с величинами свободного набухания и давлением набухания. Выявлен нестационарный режим изменчивости показателей набухаемости в пределах акватории древнего Сарматского морского бассейна.

Ключевые слова: сарматские глины, свободное набухание, давление набухания, коэффициент агрегированности, кинематика набухания.

Изучались глины, сформировавшиеся в акватории древнего Сарматского моря [1]: в его восточной части (сейчас это Ставропольская возвышенность) и в западной части (сейчас это Центрально-Молдавская возвышенность). Средние значения показателей свойств глин из этих районов приведены в табл. 1 [2].

Анализ сходимости показателей состояния и физических свойств глин (см. табл. 1) свидетельствует о том, что наблюдается отчетливо выраженная изменчивость почти всех показателей. В восточной части региона на территории Центрального Предкавказья, где глинистые осадки накапливались в условиях повышенной вулканической активности Кавказского региона, образовались породы с повышенным содержанием солей, более высоким содержанием монтмориллонита, большой емкостью поглощения и преобладанием в обменном комплексе ионов Na^+ и K^+ . Эти глинистые осадки после консолидации и превращения их в горную породу подвергались воздействию региональных климатических факторов: большому количеству атмосферных осадков и невысокой испаряемости.

Вследствие этого здесь сформировались высокопористые глины с большими показателями пластичности, высокой влажностью и небольшой плотностью. В западной части региона на территории Центрально-Молдавской возвышенности накопление глинистого осадка в Сарматском море происходило в условиях периодического разбавления морских вод речным стоком с Русской платформы и невысокой вулканической активности горной страны Добруджа. Здесь накапливались менее засоленные глинистые осадки с меньшим содержанием монтмориллонита, а следовательно, и меньшей емкостью поглощения. В обменном комплексе таких пород преобладают Ca^{+2} и Mg^{+2} . После консолидации осадка и превращения его в горную породу территория Северного Причерноморья оказалась в зоне недостаточного увлажнения. Вследствие этого здесь сформировались низкопористые глины с пониженными показателями пластичности, небольшой влажностью и высокой плотностью.

Таблица 1

Проверка различия между выборочными совокупностями показателей физических свойств среднесарматских глин Ставропольской возвышенности и Центрально-Молдавской возвышенности по критериям Стьюдента и Фишера

№ выб.	Показатели	Количество определений N	Среднее X , %	Дисперсия S^2	Значение параметрических критерий для пар выборок 1—2		
					$\frac{t_p}{F_p}$	$\frac{t_\alpha}{F_\alpha}$	Характер нулевой гипотезы
1	Плотность ρ , г/см ³	103	1,74	0,0038	2,12	1,98	—
2		631	2,00	0,0050	2,11	1,99	—
1	Природная влажность W	103	0,36	0,0040	27,01	1,99	—
2		631	0,23	0,0014	2,86	1,98	—
1	W_L	103	0,65	0,0060	55,89	1,99	—
2		631	0,48	0,0052	1,15	1,98	+
1	W_p	103	0,35	0,0130	18,90	1,99	—
2		631	0,24	0,0013	10,0	1,98	—
1	J_p	103	0,27	0,0038	42,13	1,99	—
2		631	0,24	0,0018	2,11	1,98	—
1	Пористость n , %	103	50,48	16,81	25,57	1,99	—
2		631	40,50	12,96	2,30	1,98	—
1	K_d	103	1,31	0,0150	31,18	1,99	—
2		631	1,04	0,0169	2,89	1,98	—

Примечание. Номера выборок: 1 — средний сармат Ставропольской возвышенности; 2 — средний сармат Центрально-Молдавской возвышенности; «+» — нулевая гипотеза доказана, выборки по данному показателю не различаются; «-» — нулевая гипотеза не доказана, выборки по данному показателю различаются; t_p , t_α — критерий Стьюдента; F_p , F_α — критерий Фишера.

Сравнение выборочных совокупностей с использованием критериев Стьюдента и Фишера подтверждает наличие различия между свойствами глин из этих двух регионов.

Набухание. Способность дисперсных пород увеличивать объем при взаимодействии с водой или растворами под действием адсорбционных, осмотических или капиллярных сил является важнейшей их характеристикой. Набухание глинистых минералов с подвижной кристаллической решеткой, к которой относится монтмориллонит, может быть вызвано также проникновением воды в межпакетное пространство кристаллической решетки. Важнейшими факторами набухания являются: минеральный и гранулометрический состав породы, состав обменных катионов, структура породы, характер ее внутренних связей и пористость, химический состав и концентрация воздействующего на породу водного раствора и условия соприкосновения породы с водным раствором. Основные показатели, характеризующие набухающие свойства пород: величина свободного набухания и давление набухания.

Величина свободного набухания. Существуют различные методы определения набухания глин. Определение величины свободного набухания глинистых пород при взаимодействии с водой в Центрально-Молдавской возвышенности изучалось на приборе ПНГ-1. За критерий условной стабилизации деформации свободного набухания была принята (в соответствии с ГОСТ 24143-80) деформация не более 0,01 мм за 16 ч. Всего проанализировано свыше 480 показателей величины свободного набухания. Исследовались образцы с ненарушенной структурой естественной влажности. Увлажнение осуществлялось путем капиллярного насыщения их дистиллированной водой. При этом набухающая способность глин характеризовалась увеличением объема образца в процентах к исходному объему. Результаты приведены в табл. 2 и 3 [2].

подавляющее количество изученных образцов Центрально-Молдавской и Ставропольской возвышенностей являются набухающими. Для разделения их по степени набухания была использована классификация Е. А. Сорочана (1968): ненабухающие — < 4 %, слабонабухающие — 4...8 %, средненабухающие — 8...12 %, сильнонабухающие — > 12 %. Величина свободного набухания в Центрально-Молдавской возвышенности изменяется от 0,03 до 0,39, при влажности набухания 0,18...0,57; в Ставропольской возвышенности при влажности набухания 0,20...0,50 свободное набухание составляет 0,02...0,67. Это свидетельствует о том, что сарматские глины имеют различную степень набухания: от слабонабухающих до сильнонабухающих. Отдельные образцы двух регионов показали величину свободного набухания менее 0,04 [4].

Наиболее часто на Ставропольской возвышенности встречаются образцы со значением величины свободного набухания 0,02...0,18, а среди невыветрелых пород значения показателя находятся в интервале 0,32...0,36. В Центрально-Молдавской возвышенности глины среднего сармата в основном средненабухающие, а верхнего сармата — сильнонабухающие [5].

Таблица 2

Обобщенные значения показателей набухаемости и пластической прочности сарматских глин Ставропольской возвышенности

Показатели	Статистические характеристики						
	Кол-во определений N	Пределы колебаний	Среднее X	Стандартное отклонение S	Дисперсия S^2	Коэффициент вариации V , %	Ошибка среднего арифметического $\frac{S}{\sqrt{N}}$
Свободное набухание $\varepsilon_{св}$	103	0,13...0,67	0,12	0,052	0,003	45,13	0,31
	22	0,02...0,32	0,26	0,036	0,001	41,2	0,51
Давление набухания $P_{св} \cdot 10^5$ Па	103	0,03...6,75	0,36	0,31	0,004	238,46	0,02
	22	0,10...1,60	0,70	0,006	0,00004	8,57	0,0009
Пластическая прочность (до набухания) $P_m \cdot 10^5$ Па	103	4,5...49,8	5,14	3,54	12,53	68,87	0,2
	22	5,8...24,3	4,39	4,82	23,23	109,79	0,7
Пластическая прочность (после набухания) $P_m \cdot 10^5$ Па	103	0,6...12,3	1,40	0,56	0,31	40,0	0,03
	22	0,2...2,3	1,89	0,74	0,55	39,15	0,11

Примечания: в числителе — для глин среднего сармата, в знаменателе — для глин нижнего сармата; пластическая прочность охарактеризована по удельному сопротивлению пенетрации.

Таблица 3

Обобщенные значения показателей набухаемости и пластической прочности сарматских глин Центрально-Молдавской возвышенности (по А. М. Моношко и Ю. И. Олянскому) [3]

Показатели	Статистические характеристики							Ошибка среднего арифметического $\frac{S}{\sqrt{N}}$
	Кол-во определений N	Пределы колебаний	Среднее X	Стандартное отклонение S	Дисперсия S ²	Коэффициент вариации V, %		
Свободное набухание $\epsilon_{\text{св}}$	38	0,21...0,32	0,33	0,083	0,007	45,31	0,015	
	321	0,03...0,39	0,20	0,060	0,004	56,79	0,003	
Давление набухания $P_{\text{св}} \cdot 10^5$ Па	28	1,25...5,00	4,21	2,689	7,231	63,93	0,573	
	22	0,50...4,00	1,99	0,923	0,852	46,45	0,218	
Пластическая прочность (до набухания) $P_m \cdot 10^5$ Па	27	1,80...12,8	4,92	1,619	2,621	32,85	0,353	
	19	1,60...7,04	4,45	1,712	0,013	38,45	0,428	
Пластическая прочность (после набухания) $P_m \cdot 10^5$ Па	27	0,10...1,10	0,21	0,113	2,931	53,91	0,025	
	19	0,20...1,50	0,58	0,389	0,151	66,88	0,097	

Результаты исследования природы набухания глинистых пород позволили установить, что на величину набухания активно влияют гидрофильность глинистых минералов, определяемая теплотой смачивания и удельной эффективной поверхностью, форма и характер строения, природа адсорбированного катиона и степень их кристалличности (степень совершенства кристаллической решетки глинистых минералов). Исследованиями В. И. Осипова [6—10] выявлена роль структурных связей в процессе набухания. В зависимости от них силы притяжения между глинистыми частицами на контактах могут превышать расклинивающее давление воды или быть меньше его. В первом случае набухания не происходит: расклинивающее действие полностью компенсируется силами притяжения, а во втором — система стремится прийти в равновесное состояние путем увеличения расстояния между частицами. В связи с этим были рассмотрены основные закономерности набухания сарматских глин с различным типом структурных связей.

Наиболее набухающими являются верхнесарматские глины Центрально-Молдавской возвышенности. Колебание величины свободного набухания составляет 0,21...0,32 (среднее 0,33). Эти глины характеризуются наибольшей (в регионе) дисперсностью и повышенным содержанием монтмориллонита в глинистой фракции. Наименее набухающими являются глины среднего сармата из Ставропольской возвышенности, залегающие на поверхности и подвергающиеся интенсивному воздействию атмосферных осадков зоны избыточного увлажнения и значительной агрегации. Величина свободного набухания других сарматских глин региона достаточно близкая, при средних значениях 0,20...0,26 [2].

На примере выборки глин Центрально-Молдавской возвышенности, состоящей из 34 показателей, был построен точечный график зависимости величины свободного набухания от коэффициента агрегированности. Полученный характер зависимости, изображенный на рис. 1 (по данным А. М. Монюшко и Ю. И. Олянского [11—14]), свидетельствует о наличии достаточно выраженной обратной связи между данными показателями. При значениях коэффициента агрегированности, близких к единице (что соответствует преобладанию в породе пластифицированно-коагуляционного типа структурных связей), величина свободного набухания изменяется в интервале 0,008...0,320 и определяется химическими особенностями, минеральным составом и состоянием породы. При коэффициенте агрегированности более единицы роль водонестойчивых структурных связей в породе понижается. При значениях, равных 3...5 (смешанный коагуляционно-цементационный тип структурных связей), расклинивающее действие воды частично компенсируется силами притяжения, обусловленными структурным сцеплением химической природы (цементационными контактами), величина свободного набухания уменьшается и для данной выборки не превышает значения, равного 0,10.

Зависимость набухания от содержания в глине обменного натрия изучалась на примере образцов сарматских глин из Ставропольской возвышенности. На рис. 2 видна четкая зависимость набухания от количества поглощенного натрия, который содержат сарматские глины в природных условиях. Проявление зависимости становится более убедительным, если учесть все факторы, влияющие на набухание.

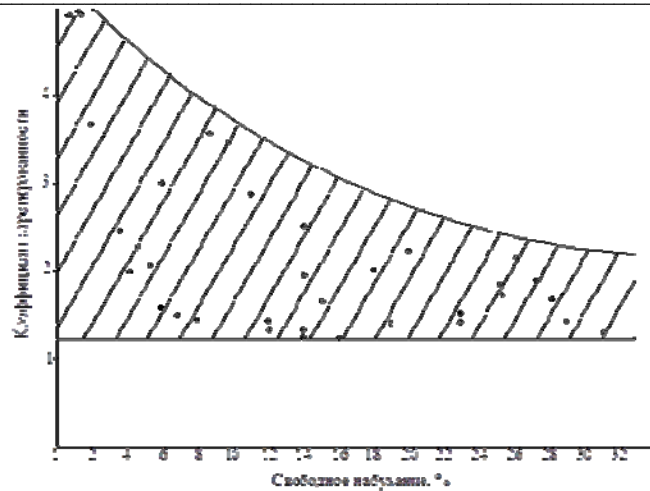


Рис. 1. Зависимость величины свободного набухания глин от коэффициента агрегативности для Центрально-Молдавской возвышенности [3]

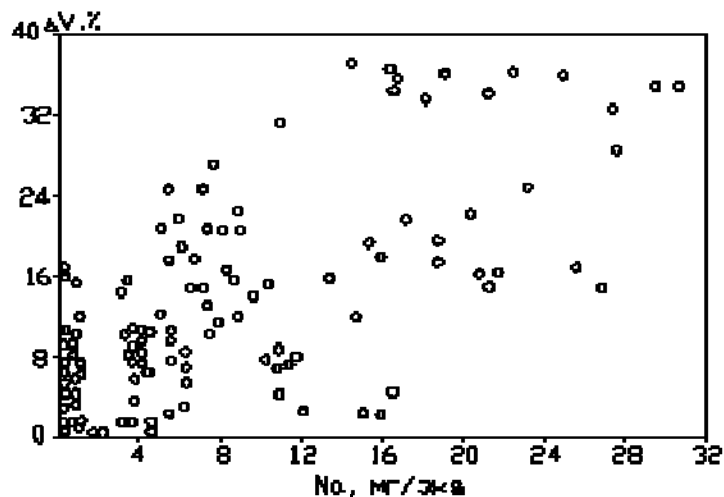


Рис. 2. Зависимость величины свободного набухания сарматских глин Ставропольской возвышенности от природного содержания обменного натрия [15]

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 обоих регионов, где они составляют половину от изученных образцов. Реже встречаются породы двух других групп: пылеватые и смешанные. На их долю приходится около 5...30 % от всех рассматриваемых образцов [5].

Корреляция величины свободного набухания с тремя указанными характеристиками (нулевая гипотеза оправдана при доверительной вероятности $\alpha = 0,05$) существует в восьми выборках из девяти. Наилучшая корреляция наблюдается с содержанием монтмориллонита в глинистой фракции ($r = 0,73$) и общим содержанием в породе монтмориллонита ($r = 0,60$).

Зависимость между показателями аппроксимируется прямыми. Характерно, что для общей выборки, включающей образцы глин с обоими типами структурных связей, связь между показателями сохраняется. Это свидетельствует о допустимости прогнозирования набухания по данным показателям без учета структурных особенностей породы. Наиболее пригодным для этой цели является показатель содержания монтмориллонита в глинистой фракции (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Значения коэффициентов корреляции величины свободного набухания сарматских глин с некоторыми показателями минерального и гранулометрического состава для глин Центрально-Молдавской возвышенности

Тип структурных связей	Пластифицированно-коагуляционный	Смешанный коагуляционно-цементационный	Пластифицированно-коагуляционный и смешанный
Содержание монтмориллонита в глинистой фракции, %	$\frac{0,45}{13}$	$\frac{0,91}{19}$	$\frac{0,73}{32}$
Общее содержание глинистых частиц в породе, %	$\frac{0,54}{19}$	$\frac{0,07}{20}$	$\frac{0,32}{39}$
Общее содержание монтмориллонита в породе, %	$\frac{0,37}{14}$	$\frac{0,66}{19}$	$\frac{0,60}{33}$

Примечание: в числителе — коэффициент корреляции, в знаменателе — количество образцов.

Кинематика набухания. Кинематические особенности набухания глинистых пород описывают развитие процесса набухания во времени и, как следует из результатов исследований многочисленных авторов, определяются в значительной степени, при прочих равных условиях (дисперсности, характере структурных связей, состояния и др.), химико-минералогической характеристикой — содержанием в обменном комплексе ионов Ca^{+2} и Na^{+2} и монтмориллонита в глинистой фракции.

При описании кинематики набухания нами использовано понятие *степени свободного набухания* [3], равное отношению величины свободного набухания в данный момент времени к полной величине свободного набухания образца. Целесообразность введения такого понятия объясняется характером процесса свободного набухания — большой интенсивностью в начале замачивания и постепенным уменьшением скорости деформации во времени. В результате этого представляет определенную трудность установление времени полного завершения деформации набухания.

Кинематические особенности характерных образцов Центрально-Молдавской возвышенности для описываемых глинистых пород показывают, что содержание большого количества Ca^{+2} в обменном комплексе и монтмориллонита в глинистой фракции ведет к более интенсивному набуханию.

Из опыта было видно, что 90 % деформации достигается уже в среднем через 1 ч, а через 1 сут она полностью завершается. С уменьшением содержания Ca^{+2} в обменном комплексе в 1,5...2,5 раза наблюдается выполаживание кривой набухания уже в начале замачивания. Кинематика набухания для глин Ставропольской возвышенности [9] показывает, что в основном для всех образцов набухание заканчивается в течение 18 сут. При этом образцы сильно набухали в течение 1...2 сут, а затем продолжали увеличиваться в объеме незначительно. Были образцы, которые набухали за четыре дня, а другие — за 35 сут.

Давление набухания. Для определения давления набухания в Центрально-Молдавской возвышенности использовался метод «арретирного хода» и прямой динамометрической зависимости. В Ставропольской возвышенности была применена методика и прибор (ДН-2), разработанный в ПНИИИСе В. Ф. Чепик и А. Н. Воскресенским [16]. В данном приборе применяется жесткий оптический динамометр (стеклянная призма), который препятствует увеличению образца в опыте. Прибор позволяет регистрировать во времени усилия от нескольких граммов до пятнадцати килограммов на квадратный сантиметр.

Результаты определения давления набухания для глин характеризуемых регионов приведены в табл. 2 и 3. Анализ данных показывает, что давление набухания сарматских глин из Ставропольской возвышенности значительно меньше давления набухания глин Центрально-Молдавской возвышенности. Для первых средние его значения составляют $(0,36...0,70)10^5$ Па — для средне- и нижнесарматских глин соответственно. Для вторых средние значения равны $(4,21; 1,99)10^5$ Па — для глин верхнего и среднего сармата.

Давление набухания является сложным показателем степени набухаемости и зависит от многих показателей состава и свойств глин. Далеко не последнюю роль здесь играют структурные связи между грунтовыми элементами [17]. В целом можно утверждать, что более агрегированные глины характеризуются меньшим значением давления набухания, чем менее агрегированные. В связи с этим данные об агрегированности сарматских глин обоих регионов [8] хорошо объясняют выявленную региональную изменчивость давления набухания сарматских глин: более агрегированные глины Ставропольской возвышенности характеризуются меньшим давлением набухания, чем менее агрегированные глины Центрально-Молдавской возвышенности.

Зависимость давления набухания от величины свободного набухания для Центрально-Молдавской возвышенности (рис. 3) изучалась по результатам 144 определений [8] давления набухания и такого же количества параллельных определений величины свободного набухания. Была установлена прямая линейная зависимость с коэффициентом корреляции $r = 0,92$, которая говорит о тесной связи между исследуемыми параметрами. При этом прогнозное уравнение имеет следующий вид:

$$P_{sw} = 17,44\varepsilon_{sw} - 0,23, N = 144, r = 0,92, t_{\alpha} = 0,05 = 0,16.$$

На этом же рис. 3 изображена кривая зависимости давления набухания сарматских глин Ставропольской возвышенности от величины свободного набухания. Результаты свидетельствуют о том, что при одинаковых значениях

величины свободного набухания указанных пород глина из Центрально-Молдавской возвышенности набухает больше (в среднем на 30 %), что находит свое объяснение в составе, состоянии и физических свойствах глин из обоих регионов.

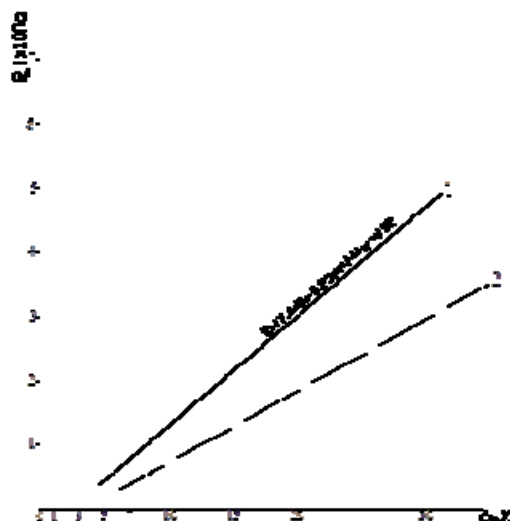


Рис. 3. Зависимость давления набухания сарматских глин от величины свободного набухания: 1 — Центрально-Молдавская возвышенность; 2 — Ставропольская возвышенность [15]

Выводы

Глины, сформировавшиеся в акватории древнего Сарматского моря, характеризуются нестационарным режимом изменчивости показателей набухаемости в широтном направлении, что обусловлено различием в химическом составе поровых вод, разной степенью агрегированности грунтовых частиц и различной степенью увлажнения территорий в послесарматское время. В восточной части Сарматского морского бассейна сформировались в основном ненабухающие и слабонабухающие, а в западной его части — в основном средне и сильнонабухающие. В результате этого возможное давление набухания глин на территории Ставропольской возвышенности не превышает 0,1 МПа, а на территории Центрально-Молдавской возвышенности может достигать 0,2...0,5 МПа. При строительстве инженерных сооружений в районе Ставропольской возвышенности с нагрузкой на фундаменты более 0,1 МПа мероприятия по устранению набухаемости грунтов основания не требуются. Для сооружений, возводимых в районе Центрально-Молдавской возвышенности, мероприятия по борьбе с набухаемостью являются обязательными.

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 Республики Башкортостан. 2017. Т. 22. № 1(85). С. 52—60.

3. *Монюшко А. М., Олянский Ю. И.* Инженерно-геологические особенности сарматско-молдавских глин Молдовы. Кишинев : Штиинца, 1991. 172 с.
4. *Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Мозгунов М. Д., Адиев 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.
5. 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, инженерной геологии и гидрогеологии. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. Вып. 14. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. С. 10—13.
6. *Осипов В. И., Соколов В. Н.* Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М. : Геос, 2013. 575 с.
7. *Осипов В. И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М. : МГУ, 1979. 232 с.
8. *Osipov V. I.* Physicochemical theory of effective stresses in soils // Water Resources. 2014. Vol. 41. No. 7. Pp. 801—818.
9. *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.
10. *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.
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. P. 022005.
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. *Монюшко А. М.* Инженерно-геологическая оценка сарматских глин. М. : Наука, 1974. 135 с.
16. *Чепик В. Ф., Воскресенский А. Н., Чулкова Н. С.* Определение давления набухания в глинистых грунтах с помощью жесткого динамометра // Инженерные изыскания для строительства : информ. вып. Сер. 5. Изд-во ПНИИИС, 1967. № 1.
17. *Denisov N. J., Bally R. J., Anotonescu J. P.* Fenomene de prabusire a unor nale de irigatce lunca Dunarii de jos Bucuresti. Bucuresti, 1960. 26 p.

© *Олянский Ю. И., Татаркин А. В., Щекочихина Е. В., 2022*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Олянский Ю. И., Татаркин А. В., Щекочихина Е. В. Набухающие свойства сарматских глин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 32—43.

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

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

Yurii I. Olyanskii^a, Aleksei V. Tatarkin^b, Evgeniya V. Shchekochikhina^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Perm State University*

SWELLING PROPERTIES OF SARMATIAN CLAYS

The characteristic of the swelling properties of Sarmatian clays common in two regions of the southern margin of the Russian plate: Stavropol and Central Moldavian uplands are given. The relationship of the indicators of the material composition of the physical properties of clays with the values of free swelling and swelling pressure is established. An unsteady regime of variability of swelling indices within the water area of the ancient Sarmatian sea basin has been revealed.

Key words: Sarmatian clays, free swelling, swelling pressure, aggregation coefficient, swelling kinematics.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Tatarkin A. V., Shchekochikhina E. V. [Swelling properties of Sarmatian 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. 4, pp. 32—43.

About authors:

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

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

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

УДК 624.131.43(470.620)

О. В. Панина^а, О. Л. Донцова^а, С. И. Махова^б

^а *Кубанский государственный университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ ПО ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРА

Метод определения относительной просадочности грунтов по их физическим свойствам основан на физических закономерностях просадочных свойств грунтов, которые регионально обобщены и обработаны при помощи математической статистики. Для расчетов было использовано 115 образцов тяжелого твердого суглинка, обладающего просадочными свойствами. В результате проведенного анализа была установлена эффективность метода определения показателей просадочности по физическим свойствам. Мера эффективности была определена путем сравнения значений с эталонными (лабораторными), а также путем графического анализа и сопоставления с нормативами. Тесные корреляционные связи, граничащие с функциональной зависимостью, высокая значимость уравнений позволяют определить характеристики просадочности по физическим свойствам грунтов для оперативного предоставления информации специалистам проектных организаций.

Ключевые слова: лессовые грунты, просадочность грунтов, физические свойства грунтов, лабораторные методы, расчетные методы, инженерно-геологические исследования, анализ методов.

В настоящее время в рамках инженерно-геологических исследований и проектирования зданий на лессовидных грунтах особо остро стоит вопрос об определении величины просадки толщи этих отложений. Данная проблема является актуальной в разных странах, и ей посвящено большое количество работ в России, США и Китае [1—5].

Как известно, существуют способы определения реальной просадки проектируемых сооружений, учитывающие просадочность только сжимаемой толщи лессовидных пород. В расчетные формулы в качестве одной из основных расчетных характеристик входит относительная просадочность лессовидных грунтов. Правильность определения этой характеристики во многом обуславливает точность вычисления вероятной просадки толщи и реальной просадки сооружений, а следовательно, обоснованность и экономность назначения противопросадочных мероприятий, обеспечивающих устойчивость проектируемых зданий.

Несмотря на большое влияние относительной просадочности на конечные результаты расчетов просадки сооружений или толщи грунта данная характеристика до настоящего времени определяется не с абсолютной точностью, так как методики испытаний не могут в полной мере учесть все условия просадки в естественной среде. Поэтому конечные результаты расчетов, особенно величины просадки толщи, являются неточными для назначения видов и объема противопросадочных мероприятий. Необходима разработка более точных способов определения относительной просадки лессовидных грунтов.

Решение поставленной задачи и дальнейшее совершенствование способов определения реальной просадки проектируемых сооружений следует проводить на основе всестороннего анализа и учета инженерно-геологических особенностей строительных площадок, природы прочности и изменения просадочности лессовидных пород, с учетом действия различных типов сооружений. В связи с этим, наряду с общими стандартными способами определения относительной просадочности и методами расчета просадки толщи, следует разрабатывать частные способы определения вероятной просадки различных типов сооружений, проектируемых на разных по свойствам и устойчивости лессовидных грунтах. Одновременно с лабораторными способами следует развивать полевые методы определения относительной просадки, в том числе штампами в шурфах и скважинах.

Как пример, для решения этих задач проведено сравнение расчетных и лабораторных методик определения просадочности грунтов, что позволило получить более полноценную информацию о состоянии лессовидных суглинков, распространенных на территории Краснодара. На основании этих исследований выбран наиболее эффективный метод получения информации о состоянии просадочных грунтов, что важно для выбора рациональных способов строительства на изучаемой территории на основе расчетных данных и лабораторных методов.

Авторами для достижения цели проведены следующие исследования:

- проведен анализ основных методов определения относительной просадочности;
- собрана информация о просадочных грунтах Краснодара;
- выполнены расчеты относительной просадочности различными методами;
- проведен сравнительный анализ использованных методов.

Инженерно-геологические условия территории

В рамках анализа инженерно-геологических условий территории авторами были проанализированы климатические особенности, рельеф территории, состав и состояние горных пород, а также геологические и инженерно-геологические процессы, влияющие на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов.

По климатическим особенностям, согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», среднегодовая температура воздуха за многолетний период составляет 11,1 °С. Среднемесячная температура самого холодного месяца, января, составляет –16 °С, самого теплого, июля, равна +23,3 °С.

Абсолютный максимум температуры воздуха достигает +42 °С, абсолютный минимум составляет –36 °С. Амплитуда колебания абсолютных температур воздуха 78 °С. Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца +29,8 °С¹.

В геоморфологическом отношении район исследования относится к провинции Предкавказья к области Приазовской низменной дельтовой равнины и приурочен к третьей правобережной надпойменной террасе реки Кубань,

¹ СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализир. ред. СНиП 23-01-99*. М. : ГУП ЦПП, 2012. 113 с.

в пределах города выделяются: пойма, вторая надпойменная (II НПТ) и третья надпойменная (III НПТ) террасы правобережья Кубани².

Пойма расположена в южной части города и является естественной его границей, она непосредственно примыкает к руслу реки. Низкий уровень пойм сохраняется на отдельных локальных участках. В целом же ее ровная поверхность понижается к Кубани, абсолютные отметки изменяются от 22,3 до 19,6 м. На поверхности поймы наблюдаются небольшие протоки, песчаные валы, на незначительных участках сохранился пойменный лес. Максимальная ширина поймы достигает 2,0 км, а превышение ее над руслом реки не более 0,7...1,0 м.

Рельеф поймы в настоящее время почти повсеместно сильно изменен хозяйственной деятельностью: местами осуществлен намыв песка из русла Кубани, на ее поверхности расположены свалки, рисовая система, поливные сельхозугодья, проложены как оросительные, так и дренажные каналы. Пойма застроена частично: это районы улиц Захарова, Индустриальной, Адыгейской набережной, а также узкой полосой по улице Кубанонабережной. На пойме расположены и городские парки: им. 50 лет Октября, 40-летия Победы, им. М. Горького. Значительная часть поймы занята различными промышленными предприятиями.

Основная часть города расположена на II надпойменной террасе Кубани (II НПТ). Поверхность ее ровная, с уклоном в юго-западном направлении, отметки изменяются от 30,0...32,0 м в восточной части города до 24,0...28,0 м в западной. Превышение II НПТ над поймой от 3...4 до 5...6, а ширина в пределах города до 1,0...6,0 км. Бровка террасы достаточно четкая. Поверхность II НПТ Кубани в пределах города прорезается долиной реки Карасун — правобережным притоком Кубани. Карасун прорезает отложения II террасы Кубани. Ширина долин Карасуна в среднем 100...150 м, глубина вреза реки в отложения террасы от 10 до 15...18 м. Борты реки в верховьях задернованы, пологие, русло с отдельными небольшими зеркалами воды, с зарослями болотной растительности, некоторые участки превращены в бытовые свалки [6].

Северная часть города расположена на III террасе. Ее поверхность имеет уклон в южном направлении. В основном отметки поверхности террасы изменяются от 36,0 (на востоке) до 28,0...27,0 м (на западе). Превышение бровки террасы над II НПТ до 6 м. Ширина террасы в пределах города достигает 8 км.

Особенностями довольно плоских равнин II и III надпойменных террас является наличие неглубоких блюдцеобразных западин — просадочных воронок, имеющих правильную округлую форму, иногда эллипсовидную. Их размеры от нескольких метров до ста и более в диаметре, и отметки дна на 0,5...0,6 м (изредка до 1,0...1,5 м) ниже отметок окружающей территории.

Нередки просадочные воронки сложной формы: на общем фоне понижения рельефа имеются еще и отдельные вторичные воронки, протягивающиеся цепочками и вытянутые по основному понижению рельефа. Второй характерной особенностью рельефа террас Кубани является наличие вытянутой формы возвышенных участков. Превышения над общей поверхностью

² Антошкина Е. В. Эколого-геоморфологическая оценка городских территорий на юге России: на примере г. Краснодара : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.25. Краснодар, 2002. 260 с.

равнины от 0,7...1,0 до 1,5 м. Это останцы обтекания. Размеры таких возвышений от нескольких метров до 50...100 м и более [7].

Как воронки, так и возвышенные части террас играют существенную роль в геологических процессах: блюдцеобразные понижения являются зонами скопления атмосферных осадков, некоторые имеют свои ложбины стоков, сезонно заболачиваются. Как правило, возвышенные участки более сухие, мощность просадочной толщи на таких участках больше.

В просадочных блюдцах просадка либо отсутствует, либо значительно меньше.

Изучение *геологического строения* является прямой задачей для определения особенностей распространения и характеристик просадочных толщ на площади изучаемой территории. В тектоническом отношении район Краснодара находится в зоне Западно-Кубанского передового прогиба, сложенного мощной толщей мезокайнозойских отложений. Мощность отложений, образовавшихся в четвертичное время в районе Краснодара, колеблется от 40 до 80 м.

Четвертичные отложения на территории Краснодара следует разделить на следующие геолого-литологические комплексы:

- 1) отложения поймы Кубани (ПТ);
- 2) отложения II надпойменной террасы (II НПТ);
- 3) отложения III надпойменной террасы (III НПТ).

Гидрогеологические условия территории города определяются развитием водоносного горизонта грунтовых вод в покровных суглинках, супесях, песках, распространенных на площади второй и третьей террасы. Мощность обводненных отложений обычно составляет 5...8 м. Водоносные отложения в пределах большей части территории подстилаются водоупорными глинами мощностью 2...5 м.

На участке изысканий выявлены следующие опасные *геологические и инженерно-геологические процессы*: подтопление, просадка, сейсмичность.

Ввиду наличия в разрезе просадочных толщ, разного набора поверхностных вод и возможности повышения уровня грунтовых вод имеет место просадка зданий. *Просадочность* — один из основных неблагоприятных физико-геологических процессов, развитых в отложениях II и III террас делювиально-эоловой фации. Проявляется она неравномерно: обычно достигает максимумов у бровок террас и склонов долины Карасуна, у эрозионных обрывов, т. е. там, где низкий уровень подземных вод и обеспечено постоянное дренирование территории. Особенностью распределения просадочных грунтов в пределах каждой террасы является наличие блюдцеобразных понижений рельефа (западин). Большинство участков с понижениями рельефа (просадочные блюдца) отмечаются на II террасе — у подошвы склона III террасы. На III террасе — в северо-восточной и северной части города.

На территории Краснодара развит в основном I тип грунтовых условий по просадочности. Мощность просадочных грунтов изменяется от 1...2 до 5...6 м, редко 7...9 м и более. Как исключение, просадочные грунты могут встретиться и на пойме — у подножия уступа II НПТ Кубани [7].

Среди опасных эндогенных геологических процессов, возможных в пределах площадки изысканий, следует отметить *сейсмичность*. Расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы М8К-64 для средних грунтовых

условий и двух степеней сейсмической опасности по карте ОСР-2011: А (10 %) — 7 баллов, В (5 %) — 8 баллов. В пределах слоя присутствуют грунты, относящиеся к III категории по сейсмическим свойствам, мощность слоя менее 5 м, следовательно, фоновая сейсмичность в соответствии с картой ОСР-2011-А СП 14.13330.2011, а также СНКК 22-301-2000* составляет 7 баллов (Краснодар)³. Район работ относится к сейсмически опасным. Наличие деформаций зданий, отмеченных при полевых обследованиях, объясняется различными причинами, например сейсмическими колебаниями, сезонными промерзаниями, антропогенным воздействием и др. Однако во многих случаях главной причиной развития деформаций являются просадочные явления в лессовидных суглинках.

Методика исследования просадочных грунтов

В настоящее время существует много работ по методике исследования физических свойств просадочных грунтов [8, 9]. Применение методов во многом носит региональный характер, с учетом особенности инженерно-геологических условий региона. Предложенная методика актуальна для исследования широко распространенных просадочных грунтов на территории Краснодара.

Для предварительного определения характеристик просадочности необходимо получить физические свойства грунтов: W — влажность, %; W_L — влажность на границе текучести, %; W_p — влажность на границе раскатывания, %; I_p — число пластичности, д. ед.; e — коэффициент пористости, д. ед.; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³; S_r — коэффициент водонасыщения, д. ед.

Характеристики просадочности определяются расчетным методом и осуществляются в два этапа. На первом этапе учитываются рекомендации к СП 22.13330.2016, определяется показатель просадочности грунтов I_{ss} по предварительной оценке.

К просадочным относятся грунты со степенью влажности $G \leq 0,8$, для которых определена величина I_{ss} .

На втором этапе определяются значения характеристик просадочности грунта. Они определяются по таблице номеров корреляционных полей, соответствующих значению W , %, грунта согласно зависимости $\epsilon_{sl,0,3} = f(W)$.

При наличии двух, трех или четырех значений, соответствующих W , %, грунта, по дополнительным физическим показателям I_p определяется номер корреляционного поля. Просадочность $\epsilon_{sl,0,3}$ грунта вычисляется согласно ГОСТ. После этого определяется P_{sl} — начальное просадочное давление грунта, и по полученным значениям $\epsilon_{sl,0,3}$ и P_{sl} строится предварительный график относительной просадочности от нагрузки в виде геометрической фигуры, а затем определяется $\tan \alpha$ угла, заключенного между катетом и гипотенузой.

Таким образом, определяется относительная просадочность $\epsilon_{sl,i}$ при нагрузках, превышающих P_{sl} ⁴.

Точность определения просадочности можно оценить ошибками воспроизводимости, которые возникают при отборе проб, транспортировке, хранении

³ СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализир. ред. СНиП II-7-81*. М. : НИЦ «Строительство», 2011. 117 с.

⁴ СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий сооружений. Актуализир. ред. СНиП 2.02.01-83*. М. : НИЦ «Строительство», 2011. 123 с.

и компрессионных испытаний «образцов-близнецов» из одного и того же монолита. Оценка ошибок необходима также при корреляционных исследованиях свойств грунтов, когда предполагается, что измерения показателей выполнены абсолютно точно, т. е. среднеквадратичные ошибки (ошибки воспроизводимости) равны нулю. Реальная оценка показателей грунтов неизбежно сопровождается ошибками измерений. Ошибки измерений в некоторых случаях создают ложное представление о сложности инженерно-геологических объектов, мешают увидеть единство в многообразии результатов наблюдений и воспользоваться простыми математическими моделями для их описания⁵.

По материалам изысканий СевКавПНИИИС авторами определены ошибки воспроизводимости при определении характеристик лессовых грунтов. Было выделено, что наиболее точно определяются физические характеристики, имеющие относительную ошибку воспроизводимости 1...10 %; динамическое и статическое зондирование имеет сравнительно небольшую относительную ошибку (10...35 %). Лабораторная просадочность лессового грунта определяется с самой большой относительной ошибкой (20...50 %), которая неизбежно увеличивается при отборе монолитов (уплотнение), их транспортировке в лабораторию (возможно подсыхание и разрушение грунта). Здесь не учтены ошибки некорректного моделирования работы грунта в компрессионном приборе (без бокового расширения) и под фундаментами зданий, где происходит боковой сдвиг грунта. Ошибки воспроизводимости не учитываются при подборе уравнений и могут существенно исказить зависимость между характеристиками грунтов.

На основе анализа выполненных исследований просадочных грунтов для повышения эффективности результатов авторами для территории Краснодара был использован метод определения относительной просадочности грунтов по их физическим свойствам по методике канд. геол.-минерал. наук О. Е. Ахлюстина [10]. Предлагаемый метод основан на физических закономерностях просадочных свойств грунтов, которые регионально обобщены и обработаны при помощи математической статистики. Ранее данный метод был опробован в условиях круглогодичных наблюдений, на просадочных грунтах в условиях Краснодарского края [11].

В работе были проведены расчеты согласно данному методу и оценена степень применимости к грунтам, распространенным на территории Краснодара. Проведение расчетов базируется на большом количестве данных, необходимых для получения достоверной информации для выполнения сравнительного анализа. В процессе работы авторами были использованы материалы изысканий прошлых лет на территории Краснодара, Прикубанского округа, ул. Западный Обход, для строительства жилого комплекса, поселка Березовый, а также поселка Индустриальный.

Для расчетов было использовано 115 образцов тяжелого твердого суглинка, обладающего просадочными свойствами. Далее все физические и просадочные значения были помещены в табл. 2. Каждый образец представлен 16 признаками,

⁵ Сербин В. В. Экспериментальное обоснование повышения несущей способности свай в лессовых грунтах на примере Северного Кавказа: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.08. Ставрополь, 2017. 196 с.

в числе которых глубина проб отбора H , м, природная влажность W_0 , граница текучести W_L , влажность раската W_p , число пластичности I_p , показатель текучести I_L , коэффициент водонасыщения S_r , плотность грунта природная ρ , скелета ρ_d , частиц ρ_s , коэффициент пористости e , относительная деформация просадочности ε_{sl} , модуль компрессионный в естественном состоянии E_k , МПа, модуль компрессионный в водонасыщенном состоянии E_k , МПа, начальное просадочное давление P_{sl} . Все значения данных характеристик были определены лабораторными методами в соответствии с ГОСТ.

Физико-механические свойства грунтов изменялись в широких пределах и определялись составом и условиями осадконакопления. Они представлены классом дисперсных, относятся к группе связных, подгруппе осадочных, по типу — к минеральным, по виду — к глинистым грунтам.

Так, глубина проб отбора H , м, изменяется от 1,5 до 10 м, среднее значение равно 4 м; природная влажность W_0 — от 0,09 до 0,23, среднее значение равно 0,19 д. ед.; граница текучести W_L — от 0,26 до 0,43, среднее значение равно 0,35 д. ед.; влажность раската W_p — от 0,19 до 0,28, среднее значение равно 0,22 д. ед.; число пластичности I_p — от 7 до 21, среднее значение равно 12,5 д. ед.; показатель текучести $I_L < 0$; коэффициент водонасыщения S_r — от 0,43 до 0,76, среднее значение равно 0,63 д. ед.; плотность грунта природная ρ — от 1,56 до 1,88, среднее значение равно 1,77 д. ед.; скелета ρ_d — от 1,29 до 1,55, среднее значение равно 1,48 д. ед.; частиц ρ_s — от 2,67 до 2,74, среднее значение равно 2,72 д. ед.; коэффициент пористости e — от 0,75 до 1,1, среднее значение равно 0,83 д. ед.; относительная деформация просадочности ε_{sl} — от 0,01 до 0,09, среднее значение равно 0,03 д. ед.; модуль компрессионный в естественном состоянии E_k , МПа, — от 2,1 до 9,76, среднее значение равно 6,80 д. ед.; модуль компрессионный в водонасыщенном состоянии E_k , МПа, — от 0,67 до 5,13, среднее значение равно 2,82 д. ед.; начальное просадочное давление P_{sl} — от 0,03 до 0,21, среднее значение равно 0,12 д. ед.

Расчет просадочности по физическим свойствам проводился в программе Microsoft Excel, согласно методу определения характеристик просадочности по физическим свойствам грунтов. На первом этапе учитывались рекомендации СП 22.13330.2016⁶, определялись показатели просадочности грунтов I_{ss} (табл. 1).

Таблица 1

Максимальные показатели I_{ss} просадочности грунтов по предварительной оценке

Число пластичности грунта I_p	$1 \leq I_p \leq 10$	$10 < I_p \leq 14$	$14 < I_p \leq 22$
Показатель I_{ss}	0,10	0,17	0,24

По результатам расчетов из 114 образцов 79 имеют значение ниже 0,1 д. ед., т. е. являются просадочными.

⁶ СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий сооружений. Актуализир. ред. СНиП 2.02.01—83*. М.: НИЦ «Строительство», 2011. 123 с.

На втором этапе определены значения характеристик просадочности грунта. Для этого вычислены номера корреляционных полей, соответствующих значению W , % грунта, зависимости $\varepsilon_{sl,0,3} = f(W)$.

При проведении расчетов на данном этапе был выявлен большой процент несоответствия частных физических показателей исследуемых грунтов группам выборок, представленных в данном методе. Номер корреляционного поля соответствовал определенной микрорегиональной выборке с характерными для нее физико-механическими свойствами.

Так, по результатам расчетов 43 образца (36 %) не соответствовали значениям показателей, 51 образец (45 %) соответствовал значениям, но не соответствовал номерам корреляционных полей. Остальные 21 образец (18 %) соответствовали значениям показателей и номерам корреляционных полей. Образцы под номерами 8, 10, 16, 20, 25, 55 и 56 соответствовали первому номеру корреляционного поля и рассчитывались по формуле $\varepsilon_{sl,0,3} = 0,240 - 9,3W10^{-3}$. Образец 4 соответствовал второму номеру корреляционного поля и рассчитывался по формуле $\varepsilon_{sl,0,3} = 0,170 - 7,0W10^{-3}$. Образцы под номерами 2, 21, 22, 42, 46, 63, 64, 66 и 72 соответствовали третьему номеру корреляционного поля и рассчитывались по формуле $\varepsilon_{sl,0,3} = 0,060 - 2,0W10^{-3}$. Образцы под номерами 28, 33 и 47 соответствовали девятому номеру корреляционного поля и рассчитывались по формуле $\varepsilon_{sl,0,3} = 0,156 - 10,4W10^{-3}$. Образец под номером 34 соответствовал шестому номеру корреляционного поля и рассчитывался по формуле $\varepsilon_{sl,0,3} = 0,246 - 11,7W10^{-3}$.

Далее были рассчитаны показатели относительной просадочности $\varepsilon_{sl,0,3}$ для каждого образца грунта. На третьем этапе были рассчитаны значения P_{sl} — начального просадочного давления грунта, соответствующие частному значению влажности W , %, образца грунта. Так, образец под номером 33 соответствует первой группе по влажности. Образцы под номерами 28 и 47 соответствуют второй группе. Образцы под номерами 10, 22, 34, 42, 46 и 64 соответствуют третьей группе. Образцы под номерами 2, 4, 8, 16, 20, 21, 25, 55, 56, 63, 66 и 72 соответствуют четвертой группе.

На четвертом этапе был определен $\text{tg } \alpha$ угла, заключенного между катетом и гипотенузой (рис.).

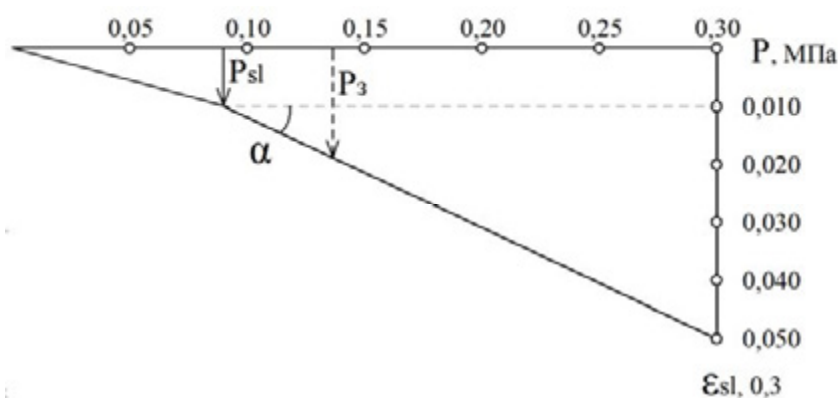


График относительной просадочности $\varepsilon_{sl, i}$ от нагрузки P_i и (или) от заданной нагрузки P_3 , МПа

На пятом этапе определяют относительную просадочность $\varepsilon_{sl,i}$ при нагрузках, превышающих P_{sl} , при P_i 0,5; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,3 МПа и (или) $\varepsilon_{sl,з}$ при заданной нагрузке $P_з$.

По полученным значениям были построены графики относительной просадочности при различных нагрузках (0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа) по каждому расчетному образцу.

Результаты исследований

Таким образом, были выполнены расчеты основных показателей просадочности расчетным методом на основе данных физических свойств грунтов. Согласно исследованиям автора методики, максимальной теснотой корреляционной связи обладают ε_{sl} и W , I_p , e . Задачей работы являлась проверка достоверности данного метода путем сравнения результатов вычислений с эталонными, т. е. лабораторными.

На первом этапе с помощью гистограмм сравнивались показатели относительной просадочности. Согласно полученным данным можно отметить существенное расхождение между расчетными и лабораторными данными. Расчетные данные оказались ниже лабораторных в 16 образцах. Максимальное расхождение имеют образцы 8, 10, 33, 46, от 0,022 до 0,38 д. ед. Минимальное расхождение имеют образцы 21, 25, 55, 56, 63, 64, от 0,002 до 0,006 д. ед. Абсолютное совпадение имеет образец 66. Общий процент несоответствия расчетных значений составляет 13 %. Это говорит о том, что данный метод показывает достаточно высокую оценку просадочности грунтов, что является хорошим результатом.

На втором этапе сравнивались показатели начального просадочного давления P_{sl} . Можно отметить также незначительное расхождение между расчетными и лабораторными данными. Расчетные данные оказались ниже лабораторных на 8 %, это означает, что просадочные свойства были несколько завышены, так как чем больше относительная просадочность, тем меньше начальное просадочное давление.

На третьем этапе сравнивались показатели относительной просадочности ε_{sl} при нагрузках 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа для каждого образца грунта. Проанализировав графики, можно отметить отсутствие единой закономерности изменчивости. В образцах 2, 4, 8, 10, 21, 22, 25, 34, 42, 46, 47, 55, 56 и 63, лабораторные значения превышают расчетные.

На четвертом этапе, согласно классификации лессовых грунтов по величине относительной просадочности по ГОСТ 25100-2020⁷, была определена разновидность грунта по степени просадочности.

В табл. 2 представлено соотношение образцов по степени просадочности в соответствии с расчетными и лабораторными значениями показателя ε_{sl} .

Проанализировав полученные результаты, можно отметить следующее: 18 образцов из 21 имеют совпадение, в трех образцах расчетные данные занижены, а в двух — завышены. Образцы 8 и 10 относятся к сильнопросадочным. Далее аналогично представлено соотношение образцов по степени просадочности в соответствии с расчетными и лабораторными значениями показателя P_{sl} (табл. 3).

⁷ ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Актуализир. ред. ГОСТ 25100—2011*. М. : Стандартинформ, 2020. 60 с.

Т а б л и ц а 2

Соотношение образцов по степени просадочности показателя ε_{sl}

Номер образца	ε_{sl} (лаб.)	ГОСТ 25100-2020	ε_{sl} (расч.)	ГОСТ 25100-2020
2	0,04	Среднепросадочный	0,02	Слабопросадочный
4	0,04	Среднепросадочный	0,02	Слабопросадочный
8	0,08	Сильнопросадочный	0,04	Среднепросадочный
10	0,09	Сильнопросадочный	0,06	Среднепросадочный
16	0,02	Слабопросадочный	0,04	Среднепросадочный
20	0,03	Слабопросадочный	0,04	Среднепросадочный
21	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
22	0,04	Среднепросадочный	0,03	Слабопросадочный
25	0,02	Слабопросадочный	0,01	Слабопросадочный
28	0,02	Слабопросадочный	0,03	Слабопросадочный
33	0,04	Среднепросадочный	0,06	Среднепросадочный
34	0,06	Среднепросадочный	0,05	Среднепросадочный
42	0,04	Среднепросадочный	0,03	Слабопросадочный
46	0,06	Среднепросадочный	0,02	Слабопросадочный
47	0,03	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
55	0,02	Слабопросадочный	0,01	Слабопросадочный
56	0,02	Слабопросадочный	0,01	Слабопросадочный
63	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
64	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
66	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
72	0,03	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный

Т а б л и ц а 3

Соотношение образцов по степени просадочности показателя P_{sl}

Номер образца	P_{sl} (лаб.)	ГОСТ 25100-2020	P_{sl} (расч.)	ГОСТ 25100-2020
2	0,09	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
4	0,07	Среднепросадочный	0,08	Среднепросадочный
8	0,03	Сильнопросадочный	0,03	Сильнопросадочный
10	0,04	Сильнопросадочный	0,03	Сильнопросадочный
16	0,059	Сильнопросадочный	0,03	Сильнопросадочный
20	0,109	Среднепросадочный	0,03	Сильнопросадочный
21	0,126	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
22	0,106	Среднепросадочный	0,08	Среднепросадочный
25	0,16	Слабопросадочный	0,15	Среднепросадочный
28	0,138	Среднепросадочный	0,07	Среднепросадочный
33	0,085	Среднепросадочный	0,04	Сильнопросадочный
34	0,088	Среднепросадочный	0,04	Сильнопросадочный
42	0,14	Среднепросадочный	0,08	Среднепросадочный
46	0,06	Сильнопросадочный	0,09	Среднепросадочный
47	0,11	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
55	0,13	Среднепросадочный	0,15	Среднепросадочный
56	0,15	Среднепросадочный	0,15	Среднепросадочный
63	0,13	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
64	0,163	Слабопросадочный	0,09	Среднепросадочный
66	0,213	Слабопросадочный	0,09	Среднепросадочный
72	0,033	Сильнопросадочный	0,09	Среднепросадочный

По результатам следует отметить соотношение степени просадочности лабораторных значений P_{sl} , ε_{sl} образцов согласно классификации ГОСТ 25100—2020. Это еще раз подтверждает соответствие нормативным значениям и правильный выбор данного метода. В связи с полученными результатами величину относительной просадочности и классификацию лессовидных грунтов по этому показателю ε_{sl} необходимо применять для оценки просадочности грунтов, для назначения объема лабораторных и полевых исследований грунтов, для выбора мероприятий по устранению просадки на этапах строительства и эксплуатации объекта и решения всех вопросов, связанных с проектированием и строительством.

Таким образом, в результате проведенного анализа была определена эффективность метода определения показателей просадочности по физическим свойствам. Мера эффективности была определена путем сравнения значений с эталонными (лабораторными), путем графического анализа и сопоставление с нормативами. Тесные корреляционные связи, граничащие с функциональной зависимостью, высокая значимость уравнений позволяют определить характеристики просадочности по физическим свойствам грунтов для оперативного предоставления информации специалистам проектных организаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимов В. Т. Генезис просадочности лессовых пород. М. : Изд-во МГУ, 1999. 272 с.
2. Zhang F., Wang G., Allen M., Xu Y. Multidisciplinary Loess Geohazard Investigations // *Frontier Earth Science*. 2022. 16 May.
3. Dijkstra T. A., Smalley I. J., Rogers C. D. F. Particle packing in loess deposits and the problem of structure collapse and hydroconsolidation // *Engineering Geology*. 1995. No. 40. Pp. 49—64.
4. Tabarsa A., Meehan C. L., Kalehiwot Nega Manahiloh. Laboratory investigation and field evaluation of loess improvement using nanoclay — a sustainable material for construction // *Construction and Building Materials*. 2018. January. Pp. 454—463.
5. Feng S., Mi Z., Shen Y., Li L. Elimination of loess subsidence with application to construction and tolerable waste during dynamic compaction // *Environmental, Earth Sciences*. 2014. May. Vol. 73. No. 9. Pp. 5317—5332.
6. Востриков Н. Г., Антошкина Е. В. Суффозионно-просадочные процессы города Краснодара // *Геология, география и глобальная энергия*. 2012. № 3(46). С. 87—91.
7. Востриков Н. Г. Распространение и особенности лессовых пород на равнинной части Краснодарского края // *Географические исследования Краснодарского края*. 2009. Вып. 4. С. 54—58.
8. Rogers C., Dijkstra T., Smalley I. Hydroconsolidation and subsidence of loess North America and Europe // *Geology Engineering. Geology studies from China, Russia*. 1994. June.
9. Hemmat A., Yaghoubi M., Masoumi A., Mosaddeghi M. R. Relationships between rut depth and soil mechanical properties in acalcareous soil with unstable structure // *Biosystems Engineering*. 2014. Vol. 118. No. 1. Pp. 147—155.
10. Ахлюстин О. Е. Стандарт организации НП СРО «КубаньСтрой-Изыскания». Грунты. Метод определения характеристик просадочности по физическим свойствам грунтов. СТО. Первая ред. Краснодар, 2013. 11 с.
11. Ахлюстин О. Е. Совершенствование системы лабораторного определения характеристик просадочных грунтов I типа (на примере фунтовых условий Анапского района) // *Инженерные изыскания : всерос. науч.-аналит. журн*. 2012. № 11. С. 42—50.

© Панина О. В., Донцова О. Л., Махова С. И., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Панина О. В., Донцова О. Л., Махова С. И. Анализ эффективности метода определения показателей просадочности грунтов по физическим свойствам на территории Краснодара // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 44—55.

Об авторах:

Панина Ольга Владимировна — канд. геол.-минерал. наук, доц., Кубанский государственный университет. Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149; panina_olga@inbox.ru

Донцова Ольга Леонидовна — канд. геогр. наук, доц., Кубанский государственный университет. Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149; doncovaol@mail.ru

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

Olga V. Panina^a, Olga L. Dontsova^a, Svetlana I. Makhova^b

^a *Kuban State University*

^b *Volgograd State Technical University*

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE DETERMINATION METHOD INDICATORS OF SOIL SUBSIDENCE BY PHYSICAL PROPERTIES ON THE TERRITORY OF KRASNODAR

The method of determining the relative subsidence of soils by their physical properties is based on the physical laws of subsidence properties of soils, which are regionally generalized and processed using mathematical statistics. 115 samples of heavy, hard loam with subsidence properties were used for calculations. As a result of the analysis, the effectiveness of the method for determining the indicators of drawdown by physical properties was established. The measure of effectiveness was determined by comparing the values with reference (laboratory), as well as by graphical analysis and comparison with standards. Close correlations bordering on functional dependence, the high significance of the equations allow us to determine the characteristics of subsidence by the physical properties of soils for the prompt provision of information to specialists of design organizations.

К е у w o r d s: loess soils, subsidence of soils, physical properties of soils, laboratory methods, calculation methods, engineering-geological studies, analysis of methods.

For citation:

Panina O. V., Dontsova O. L., Makhova S. I. [Analysis of the effectiveness of the determination method indicators of soil subsidence by physical properties on the territory of Krasnodar]. *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. 4, pp. 44—55.

About authors:

Olga V. Panina — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Kuban State University. 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russian Federation; panina_olga@inbox.ru

Olga L. Dontsova — Candidate of Geographical Sciences, Docent, Kuban State University. 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russian Federation; doncovaol@mail.ru

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

УДК 624.131

А. Н. Ушаков

Волгоградский государственный технический университет

О ПРОЧНОСТИ КОНТУРОВ ОДИНОЧНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВСЕСТОРОННЕМУ РАВНОМЕРНОМУ ДАВЛЕНИЮ

Приведены результаты исследования напряженного состояния на контурах подземных горизонтальных выработок, поперечное сечение которых имеет вид эллипса любого размера и формы. Для выработок данного типа при заданном значении коэффициента бокового распора горной породы определены допустимые глубины заложения и величины растягивающего равномерного давления в точках их контуров, при которых нормальные тангенциальные напряжения не превосходят пределов прочности вмещающей породы при растяжении и сжатии.

Ключевые слова: отображающая функция, напряженное состояние, горизонтальная выработка, глубина заложения выработки, равномерное давление, коэффициент бокового распора.

Известно, что одной из важнейших проблем геомеханики является задача, связанная с исследованием напряженного состояния горных пород вокруг одиночных выработок [1—3]. При этом существенный интерес представляет задача о распределении напряжений на контурах выработок, так как ее решение тесно связано с проблемой их прочности.

Решение таких задач в рамках модели линейно-деформируемой среды может быть получено применением методов линейной теории упругости [4—8] с использованием аппарата комплексного анализа [8—13].

Для построения контура подземной горизонтальной выработки заданной формы поперечного сечения необходимо найти функцию комплексного переменного, совершающую конформное отображение одной из канонических областей, чаще всего внутренности или внешности единичного круга, на бесконечную односвязную область, границей которой является простая замкнутая кривая, имитирующая контур выработки требуемой конфигурации. Построение такой функции часто представляет собой довольно трудную задачу ввиду того, что она, как правило, представляется сложным аналитическим выражением. Поэтому приходится отказываться от точных выражений, заменяя их выражениями из хорошо изученных функций.

К последним следует отнести полиномы. Это обстоятельство способствовало созданию удобных приближенных методов построения отображающих функций [14, 15].

В. К. Цветковым [16] предложена функция комплексного переменного

$$z = x + iy = \omega(\zeta) = i(A\zeta^{-1} + B\zeta + C\zeta^2 + D\zeta^3), \quad (1)$$

где A, B, C, D — действительные числа, осуществляющая отображение внутренности единичного круга $|\zeta| < 1$ на бесконечную односвязную область, границей которой является семейство простых замкнутых кривых.

Отображающая функция (1) была использована ее автором для решения ряда актуальных задач геомеханики [16, 17].

Рассмотрим подземную горизонтальную выработку, форма поперечного сечения которой определяется при помощи отображающей функции (1). Пусть данная выработка расположена на достаточно большой глубине H , причем по контуру выработки действует всестороннее растягивающее равномерное давление интенсивности p , что позволяет рассматривать ее как подземное хранилище, например, газообразных углеводородов.

В статье [18] приведено решение задачи о распределении напряжений в точках контуров одиночных подземных горизонтальных выработок заданной формы поперечного сечения, расположенных на определенной глубине, причем контуры подвержены всестороннему равномерному давлению. Полученные в работе результаты проиллюстрированы на примере выработки, поперечное сечение которой имеет форму трапеции.

Не менее важной задачей является задача определения допустимых глубин заложения выработок различного поперечного сечения при заданных значениях всестороннего равномерного давления и величины коэффициента бокового распора горной породы. Решение этой задачи приведено в работах [19—22]. В статье [23] рассмотрено решение задачи об определении допустимой величины растягивающего равномерного давления, приложенного в точках контуров выработок, при заданных значениях глубин их заложения и коэффициента бокового распора. В работах [24, 25] приведены решения задач для отображающей функции, представляющей собой полином пятой степени, т. е. являющейся обобщением функции (1).

Заметим, что во всех упомянутых выше работах рассмотрены выработки, имеющие форму сечения в виде трапеции, свода с наклонными и вертикальными стенками и т. д. Вместе с тем выработки, поперечное сечение которых имеет форму эллипса, на практике встречаются гораздо чаще. Поэтому задачи, связанные с распределением напряжений в точках контуров таких выработок, а также изучение вопросов их прочности представляют значительный интерес.

В работе [26] приведены результаты исследования по определению напряженного состояния на контурах подземных горизонтальных выработок, поперечное сечение которых имеет форму эллипса с фиксированным значением большой полуоси; определены допустимые глубины заложения и величины растягивающего равномерного давления в точках контуров при заданных значениях коэффициента бокового распора горной породы. Данная работа посвящена изучению вопросов прочности в точках контуров выработок, форма поперечного сечения которых представляет собой эллипс любого размера и формы и является продолжением исследований, начатых в [26].

Целью статьи является исследование напряженного состояния в точках контуров выработок, имеющих поперечное сечение в виде эллипса произвольного размера и формы, определение допустимых глубин заложения и величин всестороннего растягивающего равномерного давления, приложенного в точках контуров рассматриваемых выработок эллиптической формы поперечного сечения при заданном значении коэффициента бокового распора горной породы.

В качестве критерия прочности, следуя [20], используем условие

$$\sigma_{\text{рас}} \leq \sigma_{\theta} \leq \sigma_{\text{сж}}, \quad (2)$$

согласно которому прочность контура выработки будет обеспечена, если на нем отсутствуют точки, в которых нормальные тангенциальные напряжения превосходят пределы прочности вмещающего грунта (горной породы) при растяжении и сжатии.

Формула, описывающая напряженное состояние в точках контура выработки, конфигурация которого определяется при помощи отображающей функции (1) при условии всестороннего равномерного давления заданной интенсивности, приложенного контуру, имеет вид [18]

$$\sigma_{\theta} = - \frac{\gamma H (F + G \cos \theta + Q \cos 2\theta) - p(K - 4U + (L - 4V) \cos \theta + (M - 4W) \cos 2\theta - N \cos 3\theta - R \cos 4\theta)}{K + L \cos \theta + M \cos 2\theta + N \cos 3\theta + R \cos 4\theta}, \quad (3)$$

где

$$F = (1 + \mu)(9D^2 + 4C^2 - A^2) + BS, \quad Q = (1 + \mu)(A + 3D)B + (3D - A)S,$$

$$G = 2C((1 + \mu)(B + 6D) + S);$$

$$S = \frac{(1 + \mu)(A + D)B - 2(1 - \mu)A^2}{A - D};$$

$$U = \frac{AB^2}{A - D} + 4C^2 + 9D^2, \quad V = \frac{2C}{A - D}[AB + (A - D)(B + 6D)], \quad (4)$$

$$W = \frac{B}{A - D}[6AD - A^2 - 3D^2];$$

$$K = A^2 + B^2 + 4C^2 + 9D^2, \quad L = 4C(B + 3D), \quad M = 2B(3D - A),$$

$$N = -4AC, \quad R = -6AD,$$

где γ — объемный вес пород; μ — коэффициент бокового распора; H — глубина заложения выработки; p — величина равномерного давления, приложенного к контуру отверстия. Согласно [3] примем, что при $p > 0$ контур выработки испытывает сжатие постоянной величины p , а при $p < 0$ — растяжение той же интенсивности.

Следуя [1], будем полагать, что

$$H \geq 50R_{\text{max}}, \quad (5)$$

где R_{max} — наибольший линейный размер сечения выработки.

Значения аргументов, при которых нормальные тангенциальные напряжения принимают нулевые значения, являются решением уравнения

$$8Rp^4 + 4Npt^3 + 2(Q\gamma H + (4W - M - 4R)p)t^2 + (G\gamma H + (4V - L - 3N)p)t + (F - Q)\gamma H + (M - 4W + R - K + 4U)p = 0, \quad (6)$$

где $t = \cos \theta$, $|t| \leq 1$.

Найдем производную функции (3) по θ и, приравняв ее нулю, получим уравнения для нахождения экстремальных значений нормальных тангенциальных напряжений:

$$\sin \theta = 0, \quad (7)$$

$$32a_1 \cos^5 \theta + 16a_2 \cos^4 \theta + 8(a_3 - 4a_1) \cos^3 \theta + 4(a_4 - 3a_2) \cos^2 \theta + 2(3a_1 - 2a_3 + a_5) \cos \theta + (a_2 - a_4 + a_6) = 0, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} a_1 &= -RQ\gamma H + (2RM - 4RW)p, \\ a_2 &= -(3/2GR + 1/2NQ)\gamma H + (3RL - 6RV + 3RL + MN - 2NW)p, \\ a_3 &= -(GN + 4FR)\gamma H + (8RK + 2NL - 4VN - 16RU)p, \\ a_4 &= (1/2QL - 1/2MG - 5/2GR - 3FN)\gamma H + \\ &\quad + (5RL + 2WL + 6NK - 10RV - 2VM - 12NU)p, \\ a_5 &= (2QK - 2MF - 2GN - 3RQ)\gamma H + \\ &\quad + (6MR + 4LN + 8WK - 12RW - 8VN - 8MU)p, \\ a_6 &= (GK + 3/2QL - 5/2NQ - 3/2MG - FL)\gamma H + \\ &\quad + (5MN + 2WL + 4VK - 10NW - 6VM - 4LU)p. \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнение (7) дает значения $\theta_1 = 0$ и $\theta_2 = \pi$; уравнение (8) может быть решено на отрезке $0 \leq \theta \leq \pi$ приближенно с нужной для практики степенью точности.

Сформулируем следующие задачи.

Задача А. Исследовать напряженное состояние в точках контуров выработок эллиптической формы поперечного сечения, находящихся под действием растягивающего всестороннего равномерного давления при изменении значений полуосей эллипса и заданном значении коэффициента бокового распора.

Задача Б. Определить величины допустимых глубин заложения подземных горизонтальных выработок эллиптической формы поперечного сечения при заданном значении коэффициента бокового распора горной породы и величины всестороннего равномерного давления, действующего по периметру контура ее поперечного сечения.

Задача В. Определить величины допустимых значений всестороннего равномерного давления, действующего по периметру контура подземной горизонтальной выработки эллиптической формы поперечного сечения, при заданных значениях глубин ее заложения и коэффициента бокового распора горной породы.

Положим в отображающей функции (1)

$$A = r, B = mr, C = D = 0, \quad (10)$$

где

$$r > 0, -1 < m < 1. \quad (11)$$

Тогда отображающая функция (1) с коэффициентами (10) осуществляет конформное отображение внутренности единичного круга $|\zeta| < 1$ на бесконечную плоскость с эллиптическим отверстием, причем окружности $|\zeta| = 1$ соответствует эллипс с центром в начале координат и полуосями

$$a = r(1 - m), b = r(1 + m). \quad (12)$$

Задавая значения r и m , можно получить эллипсы любой формы и размера. Если $m = 0$, то эллипс обращается в окружность. В предельном случае $m \rightarrow -1$ эллипс обращается в отрезок оси Ox длины $4r$, заключенный между точками $x = \pm 2r$, при этом область обращается в бесконечную плоскость с прямолинейной щелью, а в случае $m \rightarrow 1$ эллипс обращается в отрезок оси Oy той же длины, заключенный между точками $y = \pm 2r$, а область обращается в бесконечную плоскость с прямолинейной щелью по оси ординат.

Подставляя значения коэффициентов (10) в соотношения (4), а затем в формулу (3), получим

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta} = & -\frac{\gamma H((1 + \mu)m^2 + 2(\mu - 1)m - \mu - 1 + 2(1 - \mu)\cos 2\theta)}{m^2 + 1 - 2m\cos 2\theta} + \\ & + p \left(1 - 4 \frac{m^2 - m\cos 2\theta}{m^2 + 1 - 2m\cos 2\theta} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Уравнение (8) после вычисления значений соотношений (9) при помощи коэффициентов (10) принимает вид

$$\cos \theta = 0,$$

откуда с учетом решений уравнения (7) следует, что нормальные тангенциальные напряжения на отрезке $0 \leq \theta \leq \pi$ принимают экстремальные значения в точках

$$\theta_1 = 0, \theta_2 = \frac{\pi}{2}, \theta_3 = \pi.$$

При решении задач будем полагать значение коэффициента бокового распора $\mu = 0,25$, которое соответствует величине коэффициента Пуассона, равным в среднем для горных пород $\nu = 0,20$ [1].

Решение задачи А

Пусть

$$p_0 = 0 \text{ т/м}^2, p_1 = 306 \text{ т/м}^2, p_2 = 612 \text{ т/м}^2. \quad (14)$$

$$H_1 = 400 \text{ м}, H_2 = 800 \text{ м}. \quad (15)$$

Рассмотрим семейство эллипсов со значениями из интервала $0 < m < 1$.

Положим

$$m_1 = 0,2, \quad m_2 = 0,5, \quad m_3 = 0,8. \quad (16)$$

Принимая $r = 2$ м, с учетом формул (12) и (16), получим значения максимальных линейных размеров эллипсов:

$$R_{\max}^1 = 7,2 \text{ м}, \quad R_{\max}^2 = 6 \text{ м}, \quad R_{\max}^3 = 4,8 \text{ м}.$$

Тогда, согласно условию (5), положим

$$H^1 = 360 \text{ м}, \quad H^2 = 300 \text{ м}, \quad H^3 = 240 \text{ м}. \quad (17)$$

Рассмотрим в качестве вмещающей породы гранит с объемным весом $\gamma = 2,5 \text{ т/м}^3$.

Подставляя в уравнение (6) значения (14) и (17) с учетом принятой величины коэффициента бокового распора, вычислим значения аргументов, при которых нормальные тангенциальные напряжения обращаются в нуль. Результаты проведенных вычислений приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Значения аргументов, при которых нормальные тангенциальные напряжения
 обращаются в нуль*

m	$p, \text{ т/м}^2$	θ_1	θ_2
0,2	306	0,453	2,689
	612	0,625	2,517
0,5	306	0,295	2,847
	612	0,438	2,704
0,8	306	0,141	3,000
	612	0,248	2,893

Выделим участки, на которых при заданных значениях равномерного давления (14) и значений m (16) действуют растягивающие напряжения, а именно:

при $m_1 = 0,2$ и $p_1 = 306 \text{ т/м}^2$ имеем

$$\theta \in (0, 0,453) \cup (2,689, 3,594) \cup (5,830, 2\pi);$$

и $p_2 = 612 \text{ т/м}^2$ имеем

$$\theta \in (0, 0,625) \cup (2,517, 3,766) \cup (5,658, 2\pi);$$

при $m_2 = 0,5$ и $p_1 = 306 \text{ т/м}^2$ имеем

$$\theta \in (0, 0,295) \cup (2,847, 3,436) \cup (5,988, 2\pi);$$

и $p_2 = 612 \text{ т/м}^2$ имеем

$$\theta \in (0, 0,438) \cup (2,704, 3,579) \cup (5,845, 2\pi);$$

при $m_3 = 0,8$ и $p_1 = 306 \text{ т/м}^2$ имеем

$$\theta \in (0, 0,141) \cup (3,000, 3,283) \cup (6,142, 2\pi);$$

и $p_2 = 612 \text{ т/м}^2$ имеем

$$\theta \in (0, 0,248) \cup (2,893, 3,390) \cup (6,035, 2\pi).$$

На остальных участках интервала $(0, 2\pi)$, а также во всех его точках при $p_0 = 0 \text{ т/м}^2$ действуют сжимающие напряжения.

Эпюры тангенциальных нормальных напряжений для выработки эллиптической формы сечения при значении равномерного давления $p_1 = 306 \text{ т/м}^2$ и величинах $m_1 - m_3$ в случае $\mu_1 = 0,25$ приведены на рис. 1.

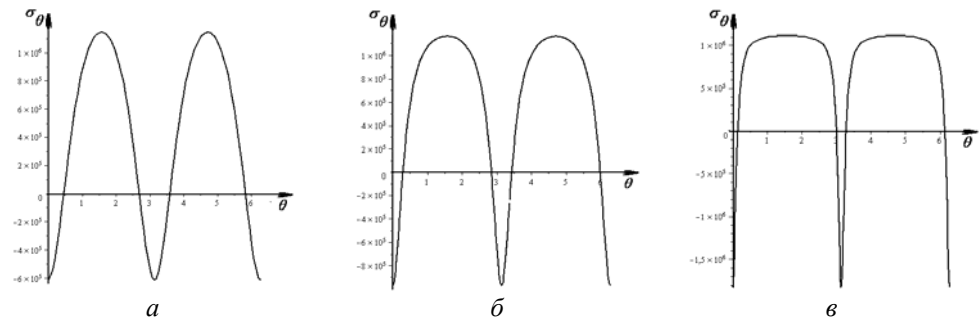


Рис. 1. Эпюры тангенциальных нормальных напряжений при: *a* — $m_1 = 0,2$; *б* — $m_2 = 0,5$; *в* — $m_3 = 0,8$

Теперь допустим, что выработки, форма которых определяется значениями (16), находятся на заданных глубинах (15). Найдем значения аргументов, при которых нормальные тангенциальные напряжения принимают нулевые значения при величине интенсивности давления в точках контуров, равной $p = 102 \text{ т/м}^2$.

Результаты проведенных вычислений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты вычислений

m	$H, \text{ м}$	θ_1	θ_2
0,2	400	0,207	2,834
	800	0,147	2,995

При остальных значениях m (16) и принятых глубинах заложения выработок (15) уравнение (6) корней не имеет.

Выделим участки контуров, на которых при заданных значениях глубин заложения (15) и параметра (16) действуют растягивающие напряжения.

Тогда:

при $m_1 = 0,2$ и $H_1 = 400 \text{ м}$ имеем

$$\theta \in (0, 0,207) \cup (2,834, 3,449) \cup (6,076, 2\pi);$$

и $H_2 = 800 \text{ м}$ имеем

$$\theta \in (0, 0,147) \cup (2,995, 3,288) \cup (6,136, 2\pi).$$

На остальных участках интервала $(0, 2\pi)$ действуют сжимающие напряжения.

В качестве примера построим эпюры этих напряжений при глубине заложения выработки $H_2 = 800$ м и значениях (16). Результат приведен на рис. 2.

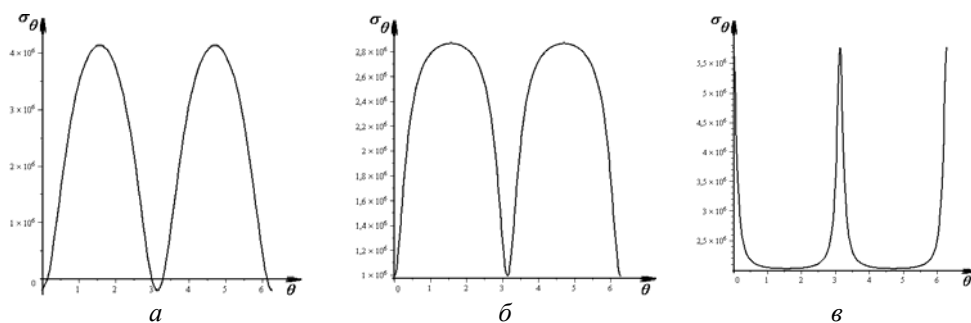


Рис. 2. Эпюры тангенциальных нормальных напряжений при $H_2 = 800$ м при:
 a — $m_1 = 0,2$; b — $m_2 = 0,5$; v — $m_3 = 0,8$

Решение задачи Б

Рассмотрим в качестве вмещающей породы гранит с объемным весом $\gamma = 2,5$ т/м³ и пределами прочности при растяжении $R_{\text{рас}} = -1735$ т/м² и сжатии $R_{\text{сж}} = 20\,400$ т/м².

В качестве величин давления, приложенных к контурам выработок, примем значения (14), полагая

$$m^1 = -0,8, \quad m^2 = -0,5, \quad m^3 = -0,2, \tag{18}$$

$$m_1 = 0,2, \quad m_2 = 0,5, \quad m_3 = 0,8.$$

Выше было показано, что значения аргументов, при которых нормальные тангенциальные напряжения принимают экстремальные значения, равны

$$\theta_1 = 0, \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2}, \quad \theta_3 = \pi, \tag{19}$$

причем, как следует из (13), $\sigma_\theta(\theta_1) = \sigma_\theta(\theta_3)$. Поэтому далее будем рассматривать два значения аргумента — θ_1 и θ_2 .

Пусть $p_0 = 0$ и $\mu = 0,25$. Применяя результаты работы [20], получим:

при $m^1 = -0,8$ $H_{\text{рас}} \approx 481$ м, $H_{\text{сж}} \approx 435$ м;

при $m^2 = -0,5$ $H_{\text{рас}} \approx 1190$ м, $H_{\text{сж}} \approx 1209$ м;

при $m^3 = -0,2$ $H_{\text{рас}} \approx 1667$ м, $H_{\text{сж}} \approx 2176$ м;

при $m_1 = 0,2$ $H_{\text{сж}} \approx 3919$ м;

при $m_2 = 0,5$ $H_{\text{сж}} \approx 10\,884$ м, $H_{\text{сж}} \approx 5765$ м;

при $m_3 = 0,8$ $H_{\text{сж}} \approx 2176$ м, $H_{\text{сж}} \approx 8398$ м.

где $H_{\text{рас}}$ и $H_{\text{сж}}$ — допустимые значения глубин заложения выработок, получаемых из условия (2) с учетом величин пределов прочности горной породы при растяжении $R_{\text{рас}}$ и сжатии $R_{\text{сж}}$.

Выбирая наименьшее из значений $H_{\text{рас}}$ и $H_{\text{сж}}$, т. е. полагая $H = \min(H_{\text{рас}}, H_{\text{сж}})$, находим допустимую глубину заложения выработки. Например, при $m^1 = -0,8$ допустимая глубина заложения выработки $H \approx 435$ м.

Случай выработки круглой формы был рассмотрен в работе [26].

Пусть в точках контура выработки действует равномерное всестороннее растягивающее давление, интенсивность которого определяется значениями (14).

Рассмотрим выражение

$$\sigma_{\theta} = -\frac{\gamma H(1,25m^2 - 1,5m - 1,25 + 1,5 \cos 2\theta)}{m^2 + 1 - 2m \cos 2\theta} + p \left(1 - 4 \frac{m^2 - m \cos 2\theta}{m^2 + 1 - 2m \cos 2\theta} \right) = R, \quad (20)$$

где R — предел прочности горной породы при растяжении или сжатии, как функцию глубины заложения выработки $H(\theta)$.

Дифференцируя функцию $H(\theta)$ и приравнявая получившуюся производную нулю, имеем

$$H'(\theta) = 5(1 - m^2)((m - 0,6)R + (m + 0,6)p) \sin 2\theta = 0. \quad (21)$$

Согласно (21), заметим, что функция глубины заложения достигает экстремума в точках со значениями аргументов (19).

Результаты вычисления глубин заложения при значениях равномерного давления (14) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Глубины заложения при определенных значениях равномерного давления

m	$p, \text{т/м}^2$	$H_{\text{рас}}, \text{м}$	$H_{\text{сж}}^1, \text{м}$	$H_{\text{сж}}^2, \text{м}$
-0,8	306	1136	546	—
	612	1273	657	—
-0,5	306	1259	1300	—
	612	1329	1390	—
-0,2	306	1576	2242	—
	612	1469	2307	—
0,2	306	—	3937	—
	612	—	3957	—
0,5	306	—	5733	11 700
	612	—	5704	12 516
0,8	306	—	2731	8298
	612	—	3286	8200

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что:

1) при заданном значении интенсивности давления (p_1, p_2) и $-1 < m < 0,63$ допустимая глубина заложения выработки увеличивается, при $0,63 < m < 1$ — уменьшается;

2) при увеличении интенсивности давления и значениях m , удовлетворяющих неравенствам $-1 < m < -0,33$, $0,12 < m < 0,35$, $0,62 < m < 1$, допустимая глубина заложения выработки увеличивается; на остальных участках интервала $-1 < m < 1$ допустимая глубина заложения выработки уменьшается.

Решение задачи В

Теперь рассмотрим выражение (20) как функцию равномерного давления p . Дифференцируя ее и приравнявая получившееся выражение нулю, убеждаемся в том, что экстремальные значения функции $p'(\theta)$ достигаются в точках с аргументами (19).

Результаты вычисления допустимых величин растягивающего равномерного давления представлены в табл. 4.

Таблица 4

Допустимые величины растягивающего равномерного давления

n	$H, \text{ м}$	$p, \text{ т/м}^2$
-0,8	400	1204,981
	800	1005,402
-0,5	400	1696,938
	800	3046,938
-0,2	400	2742,346
	800	2704,081
0,2	400	867,346
	800	867,346
0,5	400	496,938
	800	646,938
0,8	400	322,629
	800	543,217

Анализ результатов, приведенных в табл. 4, показывает, что:

1) при увеличении глубин заложения выработок и значениях m из интервалов $-0,6 < m < -0,3$, $0,5 < m < 1$ величины допустимого растягивающего равномерного давления в точках контуров выработок увеличиваются, при $-0,3 < m < -0,1$ — уменьшаются;

2) при $m = 0,2$ величина допустимого растягивающего равномерного давления в точках контуров выработок не зависит от глубины заложения выработок.

Графики функции глубины заложения $H(\theta)$ при $p_1 = 306 \text{ т/м}^2$ и функции растягивающего равномерного давления $p(\theta)$ при $H = 400 \text{ м}$ приведены на рис. 3.

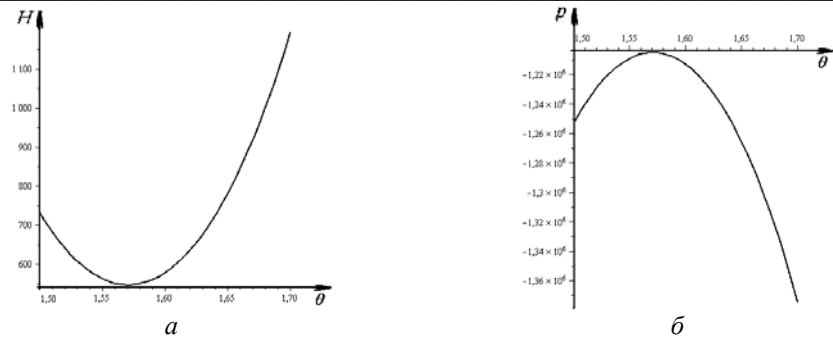


Рис. 3. Графики функций глубины заложения (а) и равномерного давления (б) при $m^1 = -0,8$

Выводы

1. Приведенные в статье формулы позволяют проводить исследование напряженного состояния выработок, поперечное сечение которых имеет форму эллипса любого размера и формы, находящихся на заданной глубине заложения, испытывающих всестороннее внутреннее равномерное давление при заданных значениях физико-механических свойств горной породы.

2. При изменении интенсивности растягивающего равномерного давления, приложенного в точках контуров выработок эллиптической формы поперечного сечения, а также их глубин заложения при заданном значении коэффициента бокового распора горной породы, выделены участки контуров, на которых действуют растягивающие и сжимающие напряжения.

3. Проведен анализ напряженного состояния, который позволил определить диапазон величин всестороннего растягивающего равномерного давления и глубин заложения выработок, при которых в зависимости от значения коэффициента бокового распора горной породы в точках их контуров действуют растягивающие и (или) сжимающие напряжения.

4. На основании используемого в работе условия прочности вычислены значения допустимых глубин заложения выработок (величин растягивающего равномерного давления) при изменяющихся величинах равномерного давления (глубинах заложения) и заданных значениях коэффициента бокового распора горной породы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цимбаревич П. М. Механика горных пород. М. : Углетехиздат, 1948. 184 с.
2. Турчанинов И. А., Иофис М. А., Каспарьян Э. В. Основы механики горных пород. Л. : Недра, 1989. 488 с.
3. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений. М. : Недра, 1989. 270 с.
4. Партон В. З., Перлин П. И. Методы математической теории упругости. М. : Наука, 1981. 688 с.
5. Green A. E., Zerna W. Theoretical elasticity. Oxford : Clarendon Press, 1968. 457 p.
6. Murnaghan F. D. Finite deformation of elastic solid. New York : Wiley, 1951. 140 p.
7. Poulos H. G., Davis E. H. Elastic solutions for soil and rock mechanics. New York : Wiley, 1974. 411 p.
8. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966. 708 с.
9. Jian-ke Lu Complex variable methods in plane elasticity. World Scientific, 1995. 237 p.
10. Chau K. T. Analytical Methods in Geomechanics. New York : CRC Press, 2012. 424 p.

11. *Akinola A.* On complex variable method in finite elasticity // *Applied Mathematics*. 2009. No. 1. Pp. 1—16.
12. *Stevenson A. C.* Complex potential in two-dimensional elasticity // *Proceeding of the Royal Society. Ser. A*. 1945. Vol. 184. No. 997. Pp. 129—179, 218—229.
13. *Schinzinger R., Laura P.* Conformal mappings. Methods and applications. Elsevier, 1991. 581 p.
14. *Фильчаков П. Ф.* Приближенные методы конформных отображений. Киев : Наукова думка, 1964. 536 с.
15. *Савин Г. Н.* Распределение напряжений около отверстий. Киев : Наукова думка, 1968. 888 с.
16. *Цветков В. К.* Определение форм сечений горных выработок с заданными напряжениями на контурах // *Физико-технические разработки полезных ископаемых*. 1986. № 2. С. 24—29.
17. *Цветков В. К.* Расчет рациональных параметров горных выработок. М. : Недра, 1993. 251 с.
18. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* О напряжениях в контурных точках одиночных подземных выработок различного поперечного сечения, подверженных всестороннему равномерному давлению // *Вестн. ПНИПУ. Стр-во и архитектура*. 2018. Т. 9. № 3. С. 54—70. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.3.06.
19. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Расчет экстремальных глубин заложения горизонтальных выработок различной формы на основе анализа напряженного состояния однородного вмещающего массива сечения // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2018. Вып. 52(71). С. 5—18.
20. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Определение глубины заложения горизонтальной выработки на основе анализа напряженного состояния вмещающего массива // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2017. № 5. С. 2—9.
21. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Об определении напряжений на контурах подземных горизонтальных выработок, подверженных всестороннему равномерному давлению // *Вестн. ПНИПУ. Стр-во и архитектура*. 2019. Т. 10. № 2. С. 36—55. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.04.
22. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Анализ напряженного состояния на контурах подземных горизонтальных выработок, подверженных равномерному давлению, и определение допустимой глубины их заложения // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2021. № 6. С. 15—18.
23. *Vogomolov A. N., Bogomolova O. A., Ushakov A. N.* Determination of an allowable value of internal uniform pressure on the underground horizontal working contour with a trapezoidal form of its cross-section // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1928.
24. *Ушаков А. Н.* О напряженном состоянии на контурах подземных горизонтальных выработок различных форм поперечного сечения // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2021. Вып. (4)85. С. 55—69.
25. *Ушаков А. Н.* Определение допустимых величин внутреннего равномерного давления на контуры подземных горизонтальных выработок различного поперечного сечения // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2022. Вып. 1(86). С. 57—70.
26. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* О прочности подземных горизонтальных выработок эллиптической формы поперечного сечения, подверженных всестороннему равномерному давлению // *Construction and Geotechnics*. 2022. Т. 13. № 1. С. 16—33. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.1.02.

© Ушаков А. Н., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Ушаков А. Н. О прочности контуров одиночных подземных горизонтальных выработок эллиптической формы поперечного сечения, подверженных всестороннему равномерному давлению // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 4(89). С. 56—68.

Об авторе:

Ушаков Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доц., проф. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ushakov.andrej2012@yandex.ru

Andrei N. Ushakov

Volgograd State Technical University

**ON THE STRENGTH OF THE CONTOURS OF SINGLE UNDERGROUND
HORIZONTAL WORKINGS OF ELLIPTICAL CROSS-SECTIONAL SHAPE,
SUBJECT TO ALL-ROUND UNIFORM PRESSURE**

The results of the study of the stress state on the contours of underground horizontal workings, the cross-section of which has the form of an ellipse of any size and shape, are presented. For workings of this type at a given value of the lateral expansion coefficient, the permissible depths and values of tensile uniform pressure at points of their contours, in which the normal tangential stresses do not exceed the limits of tensile and compression strength of the host rock are determined.

Key words: mapping function, stress state, horizontal production, depth of production, uniform pressure, lateral expansion coefficient.

For citation:

Ushakov A. N. [On the strength of the contours of single underground horizontal workings of elliptical cross-sectional shape, subject to all-round uniform pressure]. *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. 4, pp. 56—68.

About author:

Andrei N. Ushakov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ushakov.andrej2012@yandex.ru

УДК 625.84

С. В. Алексиков, Д. И. Гофман, О. А. Брыткова, И. И. Глазунов

Волгоградский государственный технический университет

ПОКРЫТИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М6 «КАСПИЙ» ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА

В статье описана технология строительства бетонного покрытия автомобильной дороги М6 «Каспий». На основании лабораторных исследований доказана эффективность применения химических добавок к бетону MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591. Обоснована экономическая целесообразность строительства бетонных покрытий на федеральной магистрали.

Ключевые слова: бетон, дорожное покрытие, автомобильная дорога, строительство, химические добавки MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591.

В Волгоградской области на участке км 903 + 500 — км 922 + 000 (19,4 км) автомобильной дороги «Каспий» выполняется реконструкция магистрали по параметрам ІВ технической категории. Согласно проекту, число полос движения увеличивается с двух до четырех, ширина земляного полотна — до 26,5 м, проезжей части — до 7,50 × 2,00 м (рис. 1). Работы выполняются компанией «СМУ-Дондорстрой».

Земляное полотно отсыпается из песка мелкого. Дорожная одежда состоит из следующих конструктивных слоев: геотекстиль, щебеночно-песчаная смесь (С-4) толщиной 25 см, верхний слой основания из «тощего» цементобетона — 18 см, пленки аэродромной ППА, покрытие из бетона тяжелого — 24 см (рис. 2).

Для устройства монолитного цементобетонного покрытия автомобильной дороги в соответствии с рабочей документацией принят тяжелый бетон БСТ В35 Вfb 4,4 W10 F200 по ГОСТ 26633—2015* [1]. Как показал опыт эксплуатации автомагистрали Москва — Волгоград, целесообразность строительства цементобетонного покрытия обусловлено его долговечностью (до 30—50 лет) в условиях интенсивного воздействия тяжелых транспортных и климатических нагрузок.

В составе тяжелого бетона БСТ В35 применен портландцемент марки М500 (ГОСТ 10178—85) без минеральных добавок на основе клинкера нормированного состава ПЦ-500-ДО-Н, поставляемый предприятием-изготовителем АО «Себряковцемент». Цемент имеет следующие характеристики: содержание Са₃АІ (алюминат кальция) — 5,7 %; нормальная плотность цементного теста — 27,25 %; сроки схватывания (начало) — 170 мин; содержание щелочных оксидов в пересчете на Na₂O — 0,6 % по массе.

В качестве мелкого заполнителя применен песок кварцевый природный нефракционный (ГОСТ 8736-2014), поставляемый предприятием-изготовителем (карьер) ООО «Челюскинское». Песок имеет следующие характеристики: модуль крупности Мк — 2,3; истинная плотность — 2,61 кг/см³; насыпная плотность — 1577 кг/м³; содержание пылевидных и глинистых частиц — 0,4 %.

* СТО НОСТРОЙ 2.25.41-2011. Устройство цементобетонных покрытий автомобильных дорог. М., 2011. 46 с.

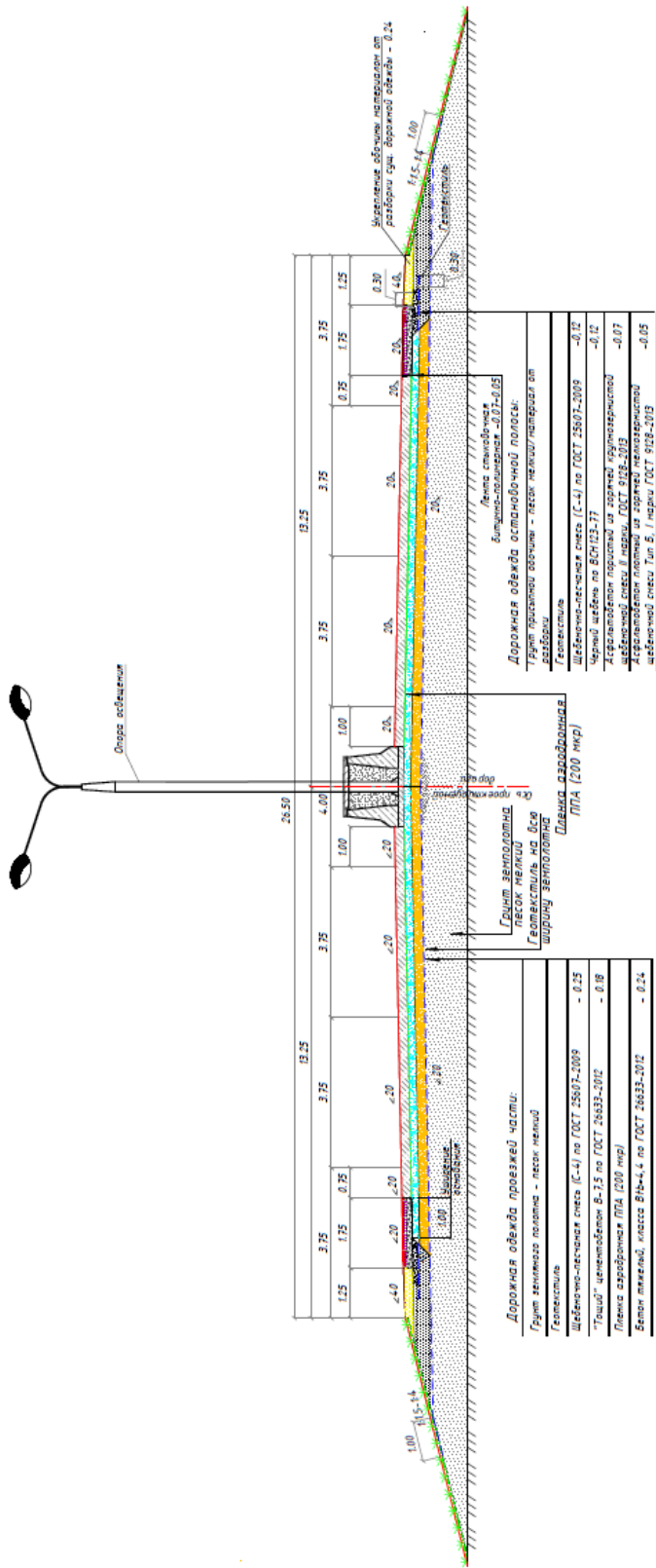


Рис. 1. Поперечный профиль проезжей части дороги (км 903 + 500 — км 922 + 000)

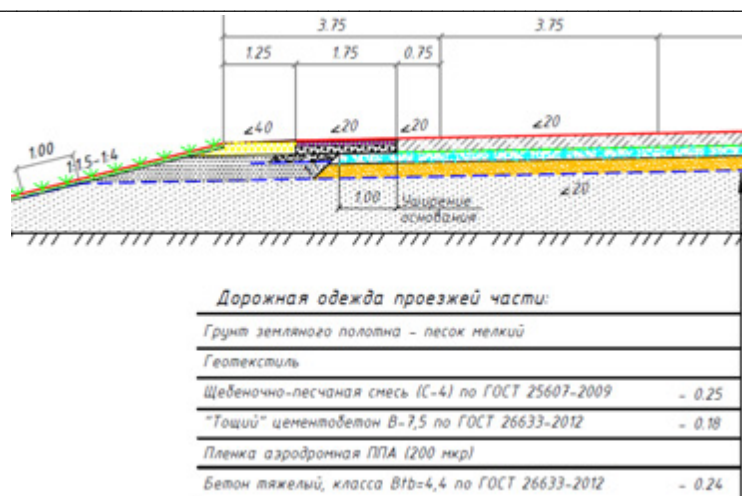


Рис. 2. Конструкция дорожной одежды км 903 + 500 — км 922 + 000

В качестве крупного заполнителя используется щебень фракции 5...10 мм и 10...20 мм (ГОСТ 8267-93), поставляемый предприятием-изготовителем АО «Павловск неруд». Щебень 5...10 мм имеет следующие характеристики: истинная плотность — 2,70 г/см³; насыпная плотность — 1355 кг/м³; марка по прочности — 1400; марка по морозостойкости — F 300; содержание пылевидных и глинистых частиц — 0,4 %. Щебень 10...20 мм характеризуется: истинной плотностью 2,67 г/см³; насыпной плотностью 1365 кг/м³; маркой по прочности 1400; маркой по морозостойкости F 300; содержанием пылевидных и глинистых частиц 0,4 %.

Бетонная смесь изготавливается в смесительной установке «Элкон-180» и перевозится на объект при средней дальности 11 км.

Для снижения расслоения бетонной смеси, увеличения воздухоудерживания, морозостойкости, водонепроницаемости и повышения прочности бетона принято решение применять химические добавки MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591 компании BASF [2—17]. Указанные добавки на основе водного раствора поверхностно-активных веществ (дозировка 0,2...2,0 % от массы цемента) в бетонах с высокой маркой образуют замкнутую систему пор (80 % пор имеет размер 100...300 мкм), позволяют получать бетоны высоких классов по морозостойкости и водонепроницаемости с плотностью 1040...1080 кг/м³, водородным показателем 5...8 pH, содержанием СИ-иона в массе не более 0,1 % [2—12].

Добавка MasterAir-125 — высоководоредуцирующая (суперпластифицирующая) добавка на основе эфира поликарбоксилата, снижает водопотребление, увеличивает подвижность, уменьшает количества воды затворения, снижает скорость тепловыделения при твердении бетонов, повышает прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость бетона. Добавка Master Glenium SKY 591 имеет мощное водоредуцирующее действие, позволяет улучшить качество поверхности бетона, снижает продолжительность и интенсивность вибрирования [1, 2, 5—17]. Лабораторные исследования показали, что применение химических добавок позволяет увеличить прочность бетона на сжатие и изгиб на 10...15 % (рис. 3, 4). Химические добавки хранятся на территории

строительного городка «СМУ-Дондорстрой», при температуре от +5 °С в закрытой емкости.

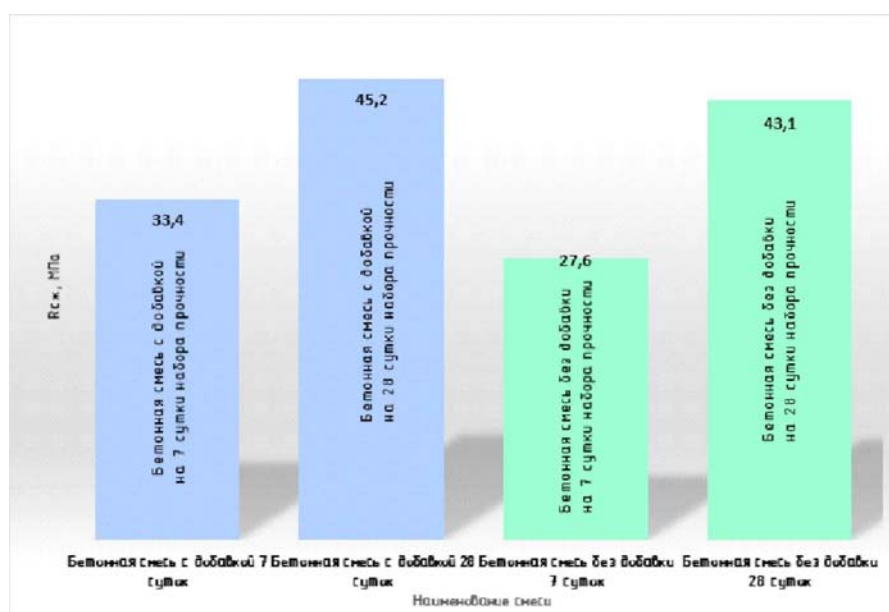


Рис. 3. Влияние добавок на прочность бетона на сжатие

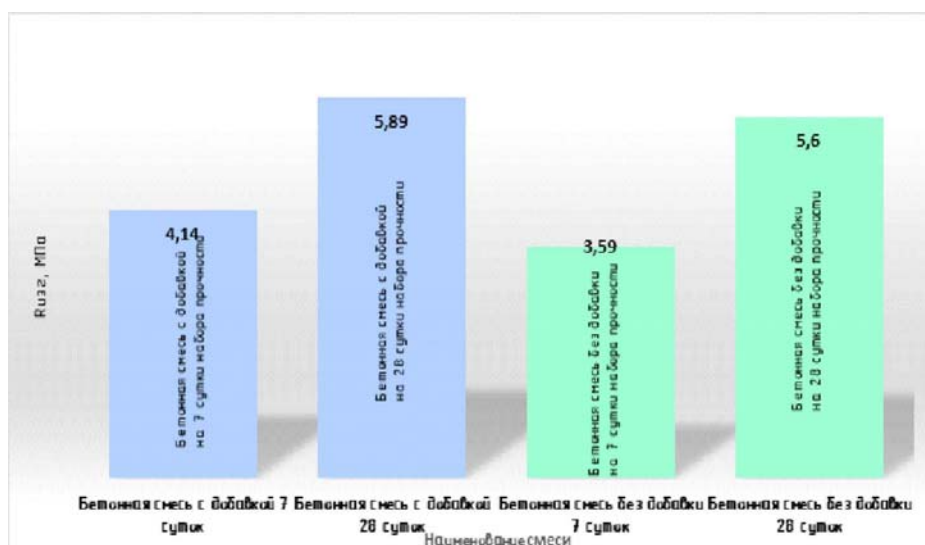


Рис. 4. Влияние добавок на прочность бетона при изгибе

В качестве материала для ухода за свежеложенным бетоном покрытия применяется пленкообразующий паронепроницаемый материал на основе водной дисперсии парафинов Master Kure 220 WB (ООО «BASF»), который обеспечивает создание сплошной пленки, обладающей достаточной влагозадерживающей способностью и сцеплением с бетоном в период 28 сут. Период формирования пленки при температуре воздуха +20 °С не превышает 5 ч,

пленка защищает бетон от высыхания: снижает образование усадочных трещин, повышает износостойкость, снижает проницаемость поверхностного слоя [6—11]. Дополнительный уход за бетоном не требуется.

Укладка бетонной смеси в покрытие выполняется в два этапа.

1-й этап — ширина укладки 4,5 м:

- смесь из смесительной установки Элкон-180 доставляется к месту укладки в кузовах автосамосвалов, накрытых влагонепроницаемым пологом, в течение 40 мин с момента выхода со смесительной установки;
- выгрузка смеси выполняется равными частями на основание из «тощего» бетона перед бетоноукладчиком GOMACO GHP-2800;
- цементобетонную смесь укладывают и уплотняют на ширину 4,5 м бетоноукладчиком со скользящими формами GOMACO GHP-2800 (рис. 5);
- ручная отделка поверхности и боковых граней цементобетонного покрытия выполняется с передвижного мостика (заделка пор, раковин при помощи кельма-меча, гладилок канальных ГК-2, макловицы, терок) (рис. 6).



Рис. 5. Укладка смеси бетоноукладчиком GOMACO GHP-2800



Рис. 6. Ручная отделка цементобетонного покрытия

На момент открытия движения строительной техники и транспорта по уложенному цементобетонному покрытию прочность бетона должна составлять не менее 70 % величины его требуемой прочности (СП 78.13330.2012). Последующие работы выполняются в следующей последовательности:

- после укладки бетонной смеси по одной полосе бетоноукладчик GOMACO GHP-2800 возвращается на начало полосы для начала укладки бетонной смеси. Производится уширение скользящей формы бетоноукладчика до 4,75 м;

- смесь из смесительной установки Элкон-180 доставляется к месту укладки в кузовах автосамосвалах, накрытых влагонепроницаемым пологом;

- выгружается смесь равными частями на основание из «тощего» бетона перед бетоноукладчиком GOMACO GHP-2800;

- выполняется окончательная отделка и нанесение пленкообразующего материала Master Kure 220 WB на бетонное покрытие при помощи текстурировщика GOMACO T/C-600;

- цементобетонная смесь укладывается и уплотняется на ширину 6 м бетоноукладчиком со скользящими формами GOMACO GHP-2800;

- бетоноукладчик одной стороной идет по уложенной ранее 4,5-метровой полосе цементобетонного покрытия (прочность бетона не менее 70 % величины его требуемой прочности), другой стороной — по основанию из «тощего» бетона В-7,5;

- производится ручная отделка поверхности и боковых граней цементобетонного покрытия с передвижного мостика (заделка пор, раковин при помощи кельма-меча, гладилок канальных ГК-2, макловицы, терок);

- выполняется окончательная отделка и нанесение пленкообразующего материала на бетонное покрытие при помощи текстурировщика GOMACO T/C-600;

- в конце каждой захватки или при вынужденных длительных перерывах в укладке бетона устраиваются поперечные рабочие швы, которые совпадают со швом расширения или сжатия цементобетонного покрытия;

- при достижении бетоном прочности на сжатие в пределах 8,0...10,0 МПа нарезается продольный шов.

Уход за свежеложенным бетоном, нанесение шероховатости и пленкообразующего материала производят сразу после появления матовой поверхности (исчезновения влаги с покрытия) с помощью текстурировщика GOMACO T/C-600, который устанавливается по оси обрабатываемой полосы (ряда) и движется в автоматическом режиме (рис. 7).

Для ухода за бетоном применяют пленкообразующие материалы путем распыления равномерно на всю открытую поверхность плиты (включая и боковые грани). После завершения работ по уплотнению пленкообразующий материал Master Kure 220 WB на основе водной дисперсии наносится на поверхность равномерно, без пропусков, в два слоя, с нормой расхода 200 г/м² на один слой. Второй слой наносится после формирования пленки на первом слое.

Высота установки траверсы с форсунками для распределения пленкообразующего материала должна быть 50...60 см.



Рис. 7. Нанесение искусственной неровности на поверхность бетонного покрытия

Для защиты свежесушеного цементобетонного покрытия от солнечной радиации и атмосферных осадков устанавливают в процессе укладки специальные средства защиты (передвижные тенты), общей длиной не менее сменной захватки. При прекращении атмосферных осадков специальные средства защиты (передвижные тенты) снимают. Нанесенный на поверхность свежесушеного цементобетона пленкообразующий материал Master Kure 220 WB предотвращает испарение влаги при температуре окружающей среды выше $+25^{\circ}\text{C}$.

Бетонное покрытие, по сравнению с асфальтобетонным, достаточно долговечно, исключает появление колеиности в жаркий летний период года. Расчетный срок службы цементобетонного покрытия в два раза выше, межремонтные сроки в 2...3 раза больше, чем у асфальтобетонного покрытия, эксплуатационные расходы, связанные с ремонтом и содержанием жестких дорожных одежд, ниже в 1,8...2,7 раза. Экономические расчеты показывают, что повышенные строительные затраты в дальнейшем, в течение 30—35 лет эксплуатации федеральных автомагистралей, компенсируются незначительными расходами на ремонт и содержание проезжей части, более высокой скоростью транспортного потока, пониженной себестоимостью перевозки грузов и пассажиров [18]. Суммарные дисконтированные затраты бетонных конструкций ниже традиционных асфальтобетонных на 2...13 %.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Многолетний опыт эксплуатации федеральной дорожной сети показывает, что при реконструкции автомагистралей России предпочтительно строительство цементобетонных покрытий. Это определяется постоянным ростом интенсивности движения (до 10...12 % в год) и осевых нагрузок, повышенной деформативностью (колеиностью) асфальтобетонных покрытий в жаркий период года, долговечностью цементобетонного покрытия (межремонтные сроки в два-три раза больше, чем у асфальтобетонного покрытия). Несмотря на более высокую строительную стоимость конструкций с жестким покрытием, наблюдается экономия эксплуатационных затрат на содержание и ремонт проезжей части. Суммарные дисконтированные затраты жесткой конструкции ниже традиционной асфальтобетонной на 2...13 %.

2. При строительстве бетонных покрытий эффективно применение пластификаторов MasterAir-125 и Master Glenium SKY 591, которые снижают водопотребление, увеличивают подвижность, снижают скорость тепловыделения при твердении бетонов, повышают прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость бетона. Добавки позволяют улучшить качество поверхности бетона, сократить продолжительность и интенсивность вибрирования. Применение химических добавок увеличивает прочность бетона на сжатие и изгиб на 10...15 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Звездов А. И., Михайлов К. В., Волков Ю. С.* XXI век бетона и железобетона // Бетон и железобетон. 2001. № 1. С. 2—6.
2. *Батраков В. Г.* Модифицированные бетоны. М. : Стройиздат, 1990. 400 с.
3. *Толмачев С. Н., Беличенко Е. А.* Влияние вовлеченного воздуха на свойства дорожных бетонов и фибробетонов // Современные бетоны: наука и практика. 2017. № 1-2. С. 68—72.
4. *Красиникова Н. М., Морозов Н. М., Хохряков О. В., Хозин В. Г.* Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий // Изв. КГАСУ. 2014. № 2(28). С. 166—172.
5. Лигносультфонатные пластификаторы нового типа для бетонных смесей и бетонов различного назначения / Е. С. Шитиков, А. М. Кириллов, Л. А. Феднер, С. Н. Ефимов, А. Б. Самохвалов // Строительные материалы. 2002. № 6. С. 36—38.
6. Классификация пластифицирующих добавок по эффекту их действия / Ф. М. Иванов, В. Г. Батраков, В. М. Москвин и др. // Бетон и железобетон. 1981. № 4. С. 33—37.
7. *Tognon G., Ursella P., Coppetti G.* Design & Properties of Concrete With Strength ver 1500 kg/cm² // J. Amer. Concr. Inst. 1980. № 3. Pp. 171—178.
8. Novel organo-mineral phases obtained by interaction of maleic anhydride-allyl ether copolymers into layered calcium aluminum hydrates / J. Plank, H. Keller, P. Andres at al. // Inorganica Chimica Acta. 2006. No. 359.
9. Influence of PC superplasticizers on tricalcium silicate hydration / S. Pourchet, C. Comparet, L. Nicoleau at al. // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. Pp. 132—145.
10. *Swamy R. N.* Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow — London : Blackie and Son Ltd, 1992. Pp. 144—170.
11. *Talero R., Rahhal V.* Influence of “aluminic” pozzolans, quartz and gypsum additives on Portland cement hydration // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. Pp. 22—35.
12. *Winnefeld F.* Interaction of Polycarboxylate-based Superplasticizer and Cements: Influence of Polymer Structure and C3A-content of Cement, 2007.
13. Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement / A. Zingg, L. Holzer at al. Montreal, 2007. Pp. 197—209.
14. *Syal S. K., Katazia S. S.* Development & Interaction of a Concrete Additive for Improved Performance & durability // Cement, Betons, Platres, chaux. 1981. No. 732. Pp. 287—291.
15. *Monosi S., Moriconi J., Pauri M., Collepardy M.* The influence of water/cement ratio on the absorption of superplasticizers, on the zeta-potential change and on the cement paste fluidity // Cemento. 1982. Vol. 79. No. 4. Pp. 355—362.
16. *Costa U., Massazza F., Berrila A.* Adsorption of superplasticizers on C3S; changes in zeta potential and reology of pastes // Cemento. 1982. Vol. 79. No. 4. Pp. 323—336.
17. *Иваницкая И. Н., Сирота З. С.* Производство и применение химических добавок при изготовлении бетона и железобетона // Строительство. Обзорная инф. Сер. 41.5. Киев, 1986. С. 36.
18. *Алексиков С. В., Алексиков И. С., Карпушко М. О., Беликов Г. И.* Оценка эффективности строительства дорожных цементобетонных покрытий в условиях юга России // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 139—147.

© Алексиков С. В., Гофман Д. И., Брыткова О. А., Глазунов И. И., 2022

Поступила в редакцию
в мае 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Алексиков С. В., Гофман Д. И., Брыткова О. А., Глазунов И. И. Покрытие автомобильной дороги М6 «Каспий» из модифицированного бетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 69—77.

Об авторах:

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

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

Брыткова Оксана Аркадьевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

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

Sergei V. Aleksikov, Dmitrii I. Gofman, Oksana A. Brytkova, Il'ya I. Glazunov

Volgograd State Technical University

MODIFIED CONCRETE PAVEMENT OF THE HIGHWAY M6 “CASPIY”

The article describes the technology of construction of the concrete pavement of the M6 “Caspian” highway. On the basis of laboratory studies, the effectiveness of the use of chemical additives to concrete MasterAir-125 and Master Glenium SKY 591 was proved. The economic feasibility of building concrete pavements on the federal highway was substantiated.

Key words: concrete, pavement, highway, construction, chemical additives MasterAir-125 and Master Glenium SKY 591.

For citation:

Aleksikov S. V., Gofman D. I., Brytkova O. A., Glazunov I. I. [Modified concrete pavement of the highway M6 “Caspian”]. *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. 4, pp. 69—77.

About authors:

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

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

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

Il'ya I. Glazunov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; glazunov.i@list.ru

УДК 625.72, 681.5

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

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКИХ НАСЫПЕЙ ПРИ ИХ УШИРЕНИИ

Приведены материалы исследования причин потери устойчивости откосов высокой насыпи при капитальном ремонте автомобильной дороги в Волгоградской области. Установлено, что при уширении земляного полотна не выполнены работы по нарезке полок существующей насыпи, постоянной отсыпке и уплотнению грунта. Приведены рекомендации по обследованию и ликвидации дефектов насыпи.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильная дорога, дорожное покрытие, откос, устойчивость, ремонт, грунт, земляное полотно.

При уширении высоких дорожных насыпей важно обеспечить устойчивость насыпного грунтового массива на откосах земляного полотна¹ [1—3]. Игнорирование конструктивно-технологических решений, связанных с нарезкой горизонтальных полок на существующем откосе, дополнительными объемами и послойным уплотнением грунта в зоне уширения, приводит к деформациям проезжей части, обочин, ограждений, водоотводных лотков и канав, укреплений откосов.

При капитальном ремонте автомобильной дороги «Червленое — Калачна-Дону» км 52 + 000 — км 55 + 895 выполнено уширение и досыпка земляного полотна на подходах к мосту через Волго-Донской судоходный канал. Грунты существующей насыпи высотой до 17,3 м представлены твердым темно-бурым суглинком, мощность до 16,5 м. Его влажность изменяется от 0,12 до 0,16 при среднем значении влажности на границе текучести 30 %, на границе раскатывания — 18 %, плотности — 2,72 г/см³. Расчетные значения характеристик сопротивления консолидированному срезу суглинков ИГЭ-1 в условиях водонасыщения: $\phi_{II} = 260$, $С_{II} = 15,0$ кПа, $\phi I = 250$, $С I = 14,0$ кПа. Средние значения компрессионных модулей деформации при природной влажности и в условиях водонасыщения равны соответственно $E_{сyx} = 6,2$ МПа и $E_{зам} = 4,5$ МПа.

Согласно проекту, земляное полотно уширяется с 10,0 до 11,0 м и досыпается суглинком до 17,85 м. Основание земляного полотна уширяется с устройством полок 5,0 м между ярусами для обеспечения общей устойчивости насыпи и возможности выполнения планировки и укрепления откосов (рис. 1). На приобвочную полосу и по откосам верхних двух ярусов уложена

¹ Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок / М-во трансп. стр-ва СССР. Гос. Всесоюз. дор. науч.-исслед. ин-т СоюздорНИИ. М., 1966. 83 с.

Меньшов А. С. Обеспечение местной устойчивости откосов высоких насыпей автомобильных дорог из несвязных грунтов : дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 230 с.

ТТК. Уширение насыпи существующего земляного полотна при реконструкции автодороги. М., 2016. 28 с.

Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве // Информатор. Обзор. информ. Вып. 7. М., 2002. 76 с.

георешетка ГЕОСПАН ОР30/15 на полотно ГЕОСПАН ТН20, ячейки георешетки заполнены щебнем 20...40 мм марки М400². Для отвода воды с проезжей части и откосов предусмотрены водоотводные канавы, расположенные на уступах земляного полотна по подошве откосов. Канавы укреплены монолитным бетоном. Для достижения проектной плотности насыпного грунта 0,95 проектом предусмотрена нарезка полок на откосах существующей насыпи, послойная отсыпка грунта с его уплотнением³ (рис. 2).

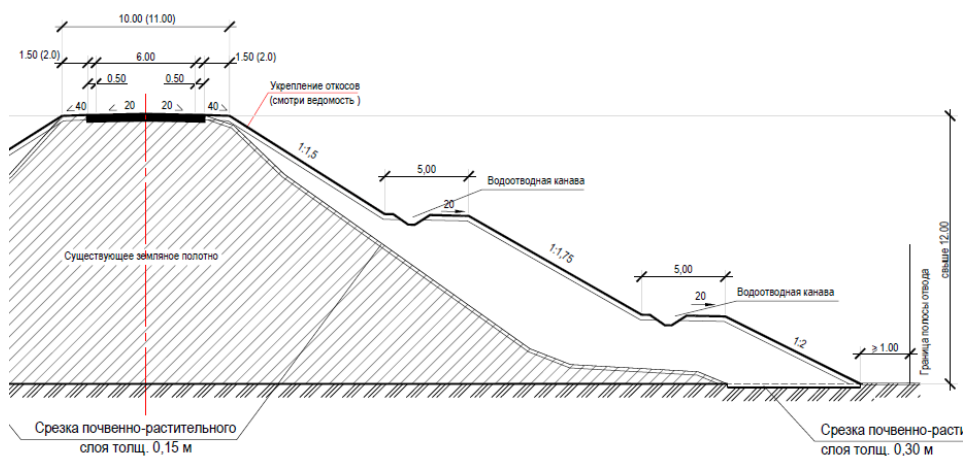


Рис. 1. Поперечный профиль земляного полотна

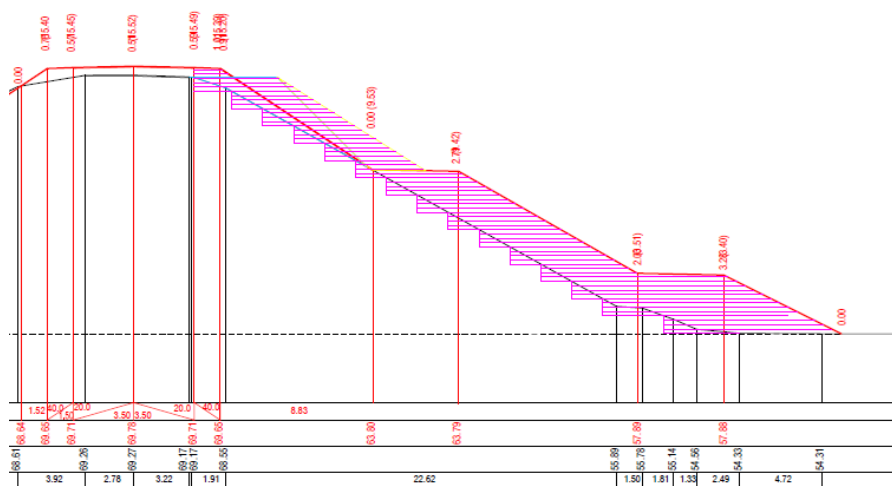


Рис. 2. Схема послойной отсыпки грунта при уширении земляного полотна

² Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве // Информатор. Обзор. информ. Вып. 7. М., 2002. 76 с.

ОДМ 218.2.078-2016. Типовые конструкции укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования. М., 2016. 132 с.

³ ТТК. Уширение насыпи существующего земляного полотна при реконструкции автодороги. М., 2016. 28 с.

После года эксплуатации на участках уширения насыпи проезжая часть и обочины начали интенсивно разрушаться (рис. 3).



Рис. 3. Просадки обочины и проезжей части

Сотрудниками кафедры СиЭТС исследованы причины разрушения дорожных конструкций. На первом этапе с помощью компьютерной программы «ОТКОС» выполнены проверочные расчеты устойчивости откоса насыпи методом равноустойчивого откоса по Н. Н. Маслову [3]. Расчеты показали, что его устойчивость обеспечена. При нормативном коэффициенте устойчивости 1,33 фактический коэффициент составляет 1,53.

На втором этапе выполнены полевые обследования. Установлено, что укрепленный георешеткой ГЕОСПАН ОР30/15 откос имеет локальные просадки до 10 см (рис. 4), которые вызваны сползанием насыпного грунта в нижнюю часть откоса. В результате подвижки грунт заполнил площадку между подошвой откосов и водоотводными канавами верхнего и нижнего ярусов. Над канавами зафиксировано нависание грунтового массива с георешеткой (рис. 5, 6), которое создало чрезмерное давление на стенки водоотводных канав и привело к локальным разрушениям бетона (рис. 7).



Рис. 4. Локальные просадки откоса насыпи на ПК 12 + 80

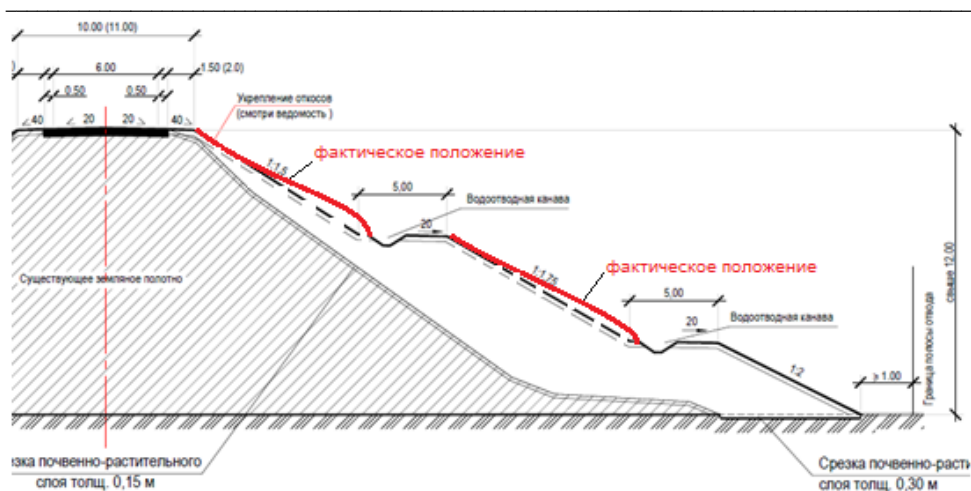


Рис. 5. Фактическое положение откоса насыпи на ПК 12 + 80



Рис. 6. Нависание грунтового массива с георешеткой над водоотводной канавой

Дополнительная нагрузка на грунт от георешетки с засыпкой щебнем ускорила сползание насыпного грунтового массива по откосам верхних двух ярусов в направлении водоотводных канав.



Рис. 7. Разрушения бетонной стенки водоотводной канавы

О сползании грунтового массива по откосу насыпи свидетельствует выдавливание георешетки ГЕОСПАН ОР30/15 в нижней части откоса (рис. 8). Равномерное выдавливание объясняется наличием под решеткой геосинтетического материала ГЕОСПАН ТН20, который воспринимает на себя давление от грунтовой подвижки и распределяет его по нижней части откоса⁴ [4—8].



Рис. 8. Выдавливание георешетки ГЕОСПАН ОР30/15 в нижней части откоса

Обследование обочин и верхней части откоса подтвердили подвижку насыпного грунта, которая привела к просадкам и сползанию бетонного замка в сторону откоса насыпи (рис. 9, 10).



Рис. 9. Просадка бетонного замка на обочине насыпи

⁴ ОДМ 218.2.078-2016. Типовые конструкции укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования. М., 2016. 132 с.



Рис. 10. Разрушения и сползание бетонного замка в сторону откоса

Оползневый процесс привел к подвижке стоек металлического барьерного ограждения в сторону откоса и прогибу профиля ограждения (рис. 11). Разрушения покрытия и обочин способствуют интенсивному увлажнению основания дорожной одежды, грунтов обочин и откосов насыпи от ливневых и талых вод в осенне-весенний период года, что ускоряет оползневой процесс [4, 9—12].

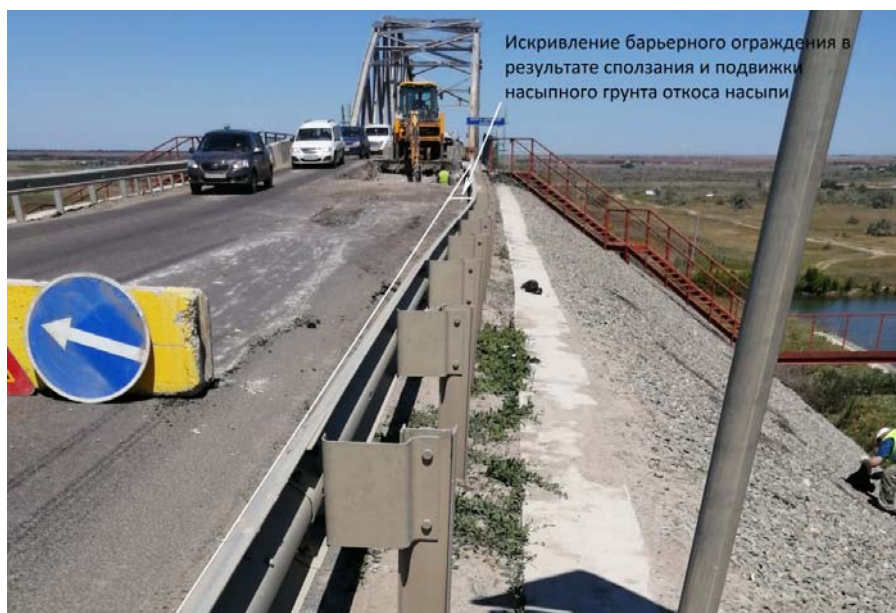


Рис. 11. Искривление барьерного ограждения в результате сползания насыпного грунта по откосу насыпи

После визуального осмотра в шести точках откоса насыпи взяты пробы грунта с определением его типа, влажности и плотности (рис. 12).

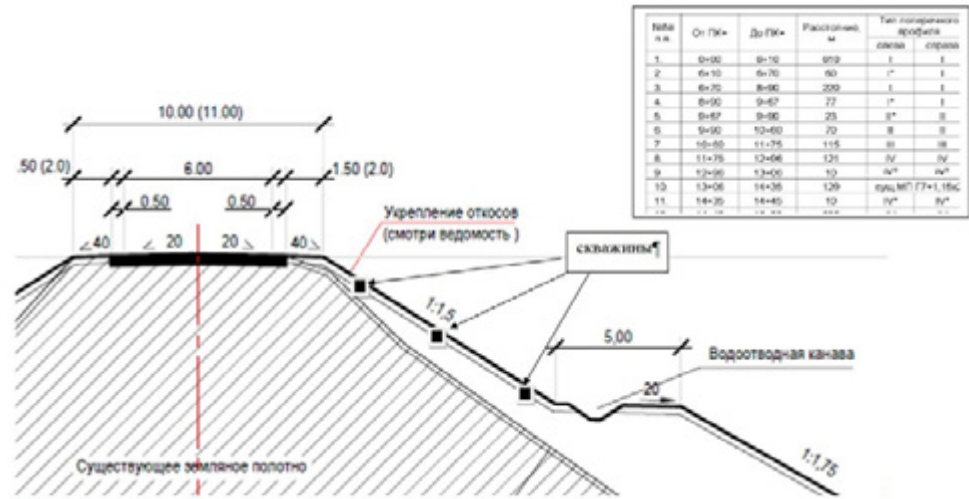


Рис. 12. Схема забора проб грунта на откосе насыпи ПК 12 + 60 и ПК 12 + 80

Тип и влажность грунта определялись в лаборатории ИАиС ВолгГТУ весовым методом. Плотность насыпного грунта определялась методом режущего кольца и динамическим плотномером Д-51 (рис. 13).



Рис. 13. Определение плотности грунта откоса динамическим плотномером

Установлено, что влажность суглинка по всему откосу меняется незначительно, в пределах 19...21 %. Объемная масса скелета насыпного грунта в пределах 1,62...1,84 г/см³ соответствует коэффициенту уплотнения 0,84...0,95. В верхней части откоса плотность грунта меньше, чем в нижней части. Увеличение плотности грунта в нижней части откоса закономерно, объясняется ростом давления от вышерасположенного грунтового массива. При этом плотность грунта в средней части откоса несколько выше, чем в

верхней части (табл.). Таким образом, можно сделать вывод, что уплотнение насыпного грунта на откосах при производстве земляных работ не выполнялось.

Измерения плотности грунта на откосе плотномером Д-51

ПК + 00	Место измерения	Количество ударов ударником	Коэффициент уплотнения грунта
12 + 80	Верх откоса	2	0,84
	Середина откоса	4	0,89
	Низ откоса	6	0,94
12 + 60	Верх откоса	2	0,84
	Середина откоса	3	0,88
	Низ откоса	7	0,95

Выполненные исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1. При уширении высоких насыпей важно выполнить нарезку полка на откосах, послонную отсыпку грунта с его уплотнением. В случае развития просадок откосов и проезжей части исследование причин разрушений дорожных конструкций следует выполнять в следующей последовательности: произвести оценку устойчивости откосов насыпи, определить наличие локальных просадок на откосах, крутизну откосов, подвижку стоек металлического барьерного ограждения в сторону откоса и прогиба профиля ограждения, выдавливание укрепления откоса в нижней его части, разрушения водосбросных телескопических лотков и стенок водоотводных канав в нижней части откоса.

2. На участках с признаками сползания насыпного грунта по откосу насыпи выполнить оценку влажности и плотности грунтового массива под укреплением в верхней, средней и нижней части откоса. При избыточной влажности или недостаточной плотности грунта следует произвести демонтаж конструкции укрепления и выполнить повторное уплотнение откоса насыпи до коэффициента уплотнения 0,95.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов И. А.* Учет нестабилизированного состояния грунтов при оценке пространственной устойчивости откосов насыпей автомобильных дорог // Изв. вузов. Инвестиции. Стр-во. Недвижимость. 2015. № 2. С. 23—30.
2. *Добров Э. М.* Обеспечение устойчивости склонов и откосов в дорожном строительстве с учетом ползучести грунтов. М. : Транспорт, 1975. 215 с.
3. *Петрович П. П.* Реконструкция земляного полотна автомобильных дорог : метод. указания к курсовому проекту. М. : МАДИ, 2016. 76 с.
4. *Цытович Н. А.* Механика грунтов : учеб. для строит. вузов. М. : Высш. шк., 1983. 288 с.
5. *Tutumluer E., Huang H., Bian X.* Research on the behavior of geogrids in stabilisation applications. Urbana, USA.
6. *Indraratha B., Nimbalkar S.* Deformation Characteristics of Railway Ballast Stabilised with Geosynthetics. Testing and consulting Report. New Delhi, India, 2010.
7. *Das B. M.* Use of Geogrid in Subgrade-Ballast System of Railroads Subjected to Cyclic Loading for Reducing Maintenance. California State University, Sacramento, USA. 2010.
8. *Brau G.* Recommendations for design and analysis of Earth structures using geosynthetic reinforcements — EBGeo / Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Germany, 2011. 313 p.

9. Казарновский В. Д. Оценка сдвигоустойчивости и связных грунтов в дорожном строительстве (теоретические основы и практические методы). М. : Транспорт, 1985. 168 с.
10. Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Цветкова Е. В., Подтелков В. В. Особенности расчета устойчивости однородных и слоистых нагруженных грунтовых откосов на основе анализа их напряженного состояния // Вестн. Пермского нац. исслед. политехн. ун-та. Стр-во и архитектура. 2016. Т. 7. № 2. С. 93—105.
11. Богомолов А. Н., Шиян С. И., Богомолова О. А. Расчет устойчивости откосов с учетом их взаимного влияния в составе грунтового сооружения // Гидротехническое строительство. 2014. № 7. С. 37—40.
12. Два подхода к определению сил оползневого давления / А. Н. Богомолов, О. В. Ермаков, А. С. Иванов, О. А. Богомолова, А. В. Прокопенко, А. Н. Ушаков // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. С. 233—239.

© Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Багдасарян А. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

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

Об авторах:

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

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

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

Багдасарян Андрей Андроникович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman, Andrey A. Bagdasaryan

Volgograd State Technical University

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF HIGH EMBANKMENTS DURING THEIR WIDENING

The materials of the study of the reasons for the loss of stability of the slopes of a high embankment during the overhaul of a highway in the Volgograd region are presented. It has been established that when the subgrade was widened, work on cutting the shelves of the existing embankment, stable backfilling and compaction of the soil was not performed. Recommendations for the examination and elimination of defects in the embankment are given.

Key words: highway, road surface, slope, stability, repair, soil, roadbed.

For citation:

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Bagdasaryan A. A. [Investigation of the stability of high embankments during their widening]. *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. 4, pp. 78—87.

About authors:

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

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

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

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

УДК 656.11(470.45)

М. М. Девятков, Н. В. Сапожкова, И. А. Дубов, К. Р. Назаров

Волгоградский государственный технический университет

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДА
КАК ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

В статье представлена система экологических потребительских свойств с целью определения благоприятного состояния окружающей природной и социальной среды на придорожных территориях в прибрежной зоне и жилой застройке. Проведены замеры параметров микроклимата участков городской территории вблизи автодорог и предложены рекомендации по улучшению условий среды придорожной территории.

Ключевые слова: дорожно-транспортная инфраструктура, прибрежная территория Волгограда, природно-техническая система, микроклимат.

В соответствии с Транспортной стратегией Российской Федерации и экологической политикой в дорожной отрасли до 2035 г.¹ [1], одной из целевых установок экологически устойчивого развития дорожной инфраструктуры является создание и поддержание устойчивой среды обитания в зоне влияния дороги — «среды социального и экологического воспроизводства, интегрированной в различные местные условия», позволяющей людям строить жизнь, отвечающую их базовым потребностям. О необходимости и эффективности такого подхода говорится и в многочисленных зарубежных источниках [2—8]. Для реализации этой цели разработаны основные теоретические положения модернизации улично-дорожной сети муниципальных образований [2, 3], в соответствии с которыми для формирования современных требований и определения приоритетов их реализации дорожно-транспортная инфраструктура представляется как природно-техническая система. Она описывается современными потребительскими свойствами (ПС), включающими в себя три взаимосвязанные и взаимозависимые подсистемы: технологическую, информационно-эстетическую и экологическую (рис. 1). Это также соответствует теории системотехники и экосистемного подхода к инженерной деятельности, в которой формирование групп потребительских свойств осуществляется на основе учета технологической (функциональной), экологической, социальной, информационно-эстетической безопасности, о чем говорится как в российских, так и в зарубежных источниках [9—14].

Сформулируем основные целевые установки и требования к блоку экологических потребительских свойств.

Главная цель системы экологических потребительских свойств природно-технической системы дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной зоны (ПТС ДТИ ПЗ) Волгограда — обеспечение благоприятного состояния окру-

¹ Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27 нояб. 2021 г. № 3363-р.

жающей природной и социальной среды в зоне влияния ПТС ДТИ ПЗ Волгограда, сохранение естественных экологических систем и природных ресурсов на придорожных территориях для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, реализации прав каждого человека на благоприятную окружающую среду и обеспечение экологической устойчивости и безопасности.



Рис. 1. Система потребительских свойств по оценке состояния эксплуатируемой улично-дорожной сети МО для целей ее модернизации

К настоящему времени число способов и параметров, по которым оценивается уровень экологического воздействия транспортных потоков и автомобильных дорог на окружающую среду, достаточно велик. В связи с этим для получения подробной картины состояния окружающей среды необходимо проводить достаточно дорогостоящие и трудоемкие измерения, которые в полном объеме сложно использовать для комплексной оценки целесообразности модернизации дорог. Поэтому для определения перечня ПС целесообразно использовать метод экспертных оценок, позволяющий устанавливать этот перечень для конкретно решаемых задач в различных условиях, в том числе для различных муниципальных образований. Методика такого опроса для данной работы описана ранее [3, 15]. Для определения требований к системе экологических потребительских свойств автомобильных дорог за базовый документ при разработке анкет для экспертного опроса в соответствии с изложенной выше методикой, наряду с вышеперечисленными, был принят документ, излагающий требования экологической безопасности автомобильных дорог². В соответствии с этой методикой, исследования проводились в следующей последовательности.

На первом этапе в результате опроса экспертов первого уровня (см. [3, 15]), в целях учета воздействия на дорожную среду, прежде всего как места общественного пользования, на целевом уровне определены целевые установки подсистемы экологических потребительских свойств (индексация, использованная ниже, принята из общего перечня потребительских свойств, приведенных на рис. 2):

² Рекомендации по разработке раздела «Охрана окружающей среды» ТЭО строительства (реконструкция) автомобильных дорог общего пользования. М. : ЦНИИП градостроительства, 1992. 91 с.

Ц₇ — минимизация воздействия на окружающую среду, выражающегося в шумовом воздействии, загрязнении воздушной среды и почвы, а также в вибрационном воздействии на прилегающие здания и сооружения;

Ц₈ — социальная совместимость обеспечивается за счет разделения придорожного пространства для использования пешеходами, велосипедистами, людьми с ограниченными возможностями (по слуху, зрению, передвижению — в инвалидных колясках) и т. д.;

Ц₉ — оптимизация занимаемых территорий;

Ц₁₀ — обеспечение хорошего микроклимата в прилегающей к дороге зоне.

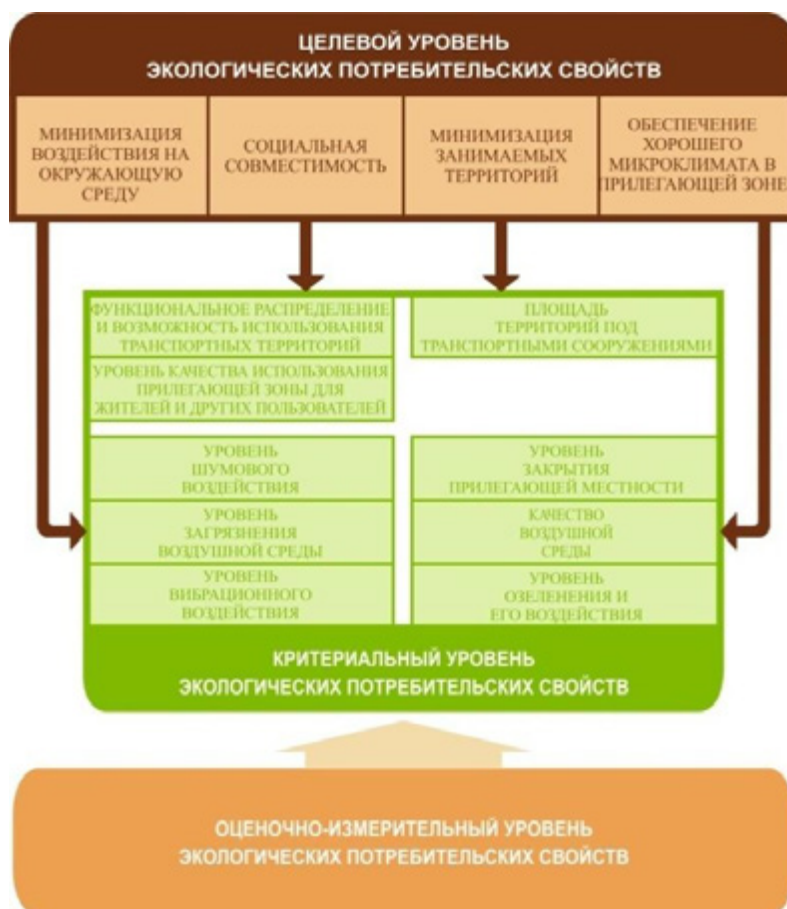


Рис. 2. Целевой и критериальный уровни подсистемы экологических потребительских свойств автомобильных дорог и придорожного пространства

На втором этапе с помощью экспертов второго уровня устанавливается критериальный уровень подсистемы экологических потребительских свойств, который описывает основные критерии, определенные так же, как и остальные, на основе экспертной оценки, для последующего выбора из существующей системы оценочных показателей, позволяющих установить уровень достижения экологических потребительских свойств по описанным выше четырем целевым установкам (см. рис. 2); детально они представлены в табличной форме (табл. 1).

Таблица 1

Целевые, критериальные и оценочные показатели подсистемы экологических потребительских свойств ПТС ДТИ ПЗ

γ_y	ζ_i	β_i	K_{i-j}		α_i	O_{ijx}		
Целевой уровень ЭПС	Минимизация воздействия на окружающую среду	Ц ₇	Критериальный уровень ЭПС	Уровень шумового воздействия	К ₇₋₁	Оценочно-измерительный уровень ЭПС	Уровень шума	O _{7-1-1ф}
							O _{7-1-1с}	
							Уровень шума при прохождении одного ТС мимо другого	O _{7-1-2ф}
							O _{7-1-2с}	
							Профиль уровня звука	O _{7-1-3ф}
							O _{7-1-3с}	
				Шумовая нагрузка	O _{7-1-4ф}			
					O _{7-1-4с}			
				Уровень загрязнения воздушной среды	К ₇₋₂		Максимальная разовая концентрация в воздухе загрязняющих веществ	O _{7-2-1ф}
							O _{7-2-1с}	
							Получасовая концентрация	O _{7-2-2ф}
				O _{7-2-2с}				
	Среднесуточная концентрация	К ₇₋₃		O _{7-2-3ф}				
				O _{7-2-3с}				
	Концентрация вредных веществ в почве	К ₇₋₃		O _{7-3-1ф}				
				O _{7-3-1с}				
	Интенсивность накопления вредных веществ в почве	К ₇₋₃		O _{7-3-2ф}				
				O _{7-3-2с}				
	Интенсивность вибрации	К ₇₋₃		O _{7-3-3ф}				
				O _{7-3-3с}				
	Частота вибрации	К ₇₋₃		O _{7-3-4ф}				
				O _{7-3-4с}				
	Социальная совместимость	Ц ₈		Функциональное распределение и возможность использования транспортных территорий	К ₈₋₁		Поперечный профиль дороги	O _{8-1-1ф}
							O _{8-1-1с}	
Скорость движения			O _{8-1-2ф}					
O _{8-1-2с}								
Интенсивность движения			O _{8-1-3ф}					
O _{8-1-3с}								
Вид и число пересечений на единицу времени			К ₈₋₁	O _{8-1-4ф}				
				O _{8-1-4с}				
Уровень социальной направленности			К ₈₋₁	O _{8-1-5ф}				
				O _{8-1-5с}				
Уровень качества использования прилегающей зоны для жителей и других пользователей			К ₈₋₂	Размер, форма и оснащение парков, скверов, площадей	O _{8-2-1ф}			
				O _{8-2-1с}				
Объем, длительность и многообразие зон пребывания (перед витринами магазинов, на скамейках и др.)	К ₈₋₂	O _{8-2-2ф}						
		O _{8-2-2с}						
Оптимизация занимаемых территорий	Ц ₉	Площадь территорий под транспортными сооружениями для движения	К ₉₋₁	Площади	O _{9-1-1ф}			
				O _{9-1-1с}				
		Особые площади	К ₉₋₁	O _{9-1-2ф}				
				O _{9-1-2с}				
		Площадь территорий под транспортными	К ₉₋₂	К ₉₋₂	К ₉₋₂	O _{9-2-1ф}		
						O _{9-2-1с}		

Окончание табл. 1

γ_y	ζ_i	β_i	K_{i-j}	α_i	O_{ijx}	
	Обеспечение хорошего микроклимата в прилегающей зоне	ζ_{10}	сооружениями для стоянок и парковок		O_{9-2-1c}	
			Уровень закрытости прилегающей местности	K_{10-1}	Относительная величина территории, имеющей твердое искусственное покрытие	$O_{10-1-1\phi}$ $O_{10-1-1c}$
					Доля инфильтрации атмосферных осадков (обеспечение стока и водоотвода)	$O_{10-1-2\phi}$ $O_{10-1-2c}$
			Качество воздушной среды	K_{10-2}	Относительная влажность воздуха	$O_{10-2-1\phi}$ $O_{10-2-1c}$
	Нагрев воздуха относительно окружающей местности	$O_{10-2-2\phi}$ $O_{10-2-2c}$				
	Уровень озеленения и его воздействия	K_{10-3}			Объем зеленых насаждений	$O_{10-3-1\phi}$ O_{7-3-1c}
			Доля испарения атмосферных осадков	$O_{10-3-2\phi}$ $O_{10-3-2c}$		
				Образование пыли	$O_{10-3-3\phi}$ $O_{10-3-3c}$	
			Доля озелененных фасадов	$O_{10-3-4\phi}$ $O_{10-3-4c}$		

На третьем этапе отбираем систему частных показателей потребительских свойств, которые сведены в табл. 1 и в соответствии с описанной методикой, формируем таблицу расчетных формул для определения уровня обеспеченности целевых установок в подсистеме экологических ПС КФПС ДТК (табл. 2).

Таблица 2

Расчетные формулы для определения уровня обеспеченности целевых установок в подсистеме ПТС ДТИ ПЗ

Целевой уровень ЭПС (ζ_i)	Расчетная формула
Минимизация воздействия на окружающую среду	$\zeta_7 = K_{7-1} \cdot \alpha_{7-1} \cdot K_{7-2} \cdot \alpha_{7-2} \cdot K_{7-3} \cdot \alpha_{7-3}$
Социальная совместимость	$\zeta_8 = K_{8-1} \cdot \alpha_{8-1} \cdot K_{8-2} \cdot \alpha_{8-2}$
Оптимизация занимаемых территорий	$\zeta_9 = K_{9-1} \cdot \alpha_{9-1} \cdot K_{9-2} \cdot \alpha_{9-2}$
Обеспечение хорошего микроклимата в прилегающей зоне	$\zeta_{10} = K_{10-1} \cdot \alpha_{10-1} \cdot K_{10-2} \cdot \alpha_{10-2} \cdot K_{10-3} \cdot \alpha_{10-3}$

Рассмотрим для примера вопрос обоснования показателей для оценки требований к потребительским свойствам, характеризующим качество воздушной среды. В качестве одного из таких показателей предложен уровень нагрева поверхности в характерных местах дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной территории (ДТИ ПТ) Волгограда. В качестве характерных мест ДТИ ПТ и сравнительных территорий выбраны следующие участки улиц и дорог (рис. 3):

- вблизи жилой застройки в Ворошиловском районе Волгограда: участок А — пересечение ул. Академической и ул. Социалистической; участок Б — пересечение ул. Рабоче-Крестьянской и ул. Академической; участок В — ул. Академическая (вблизи дома № 15); участок Г — ул. Милиционера Буханцева (вблизи дома № 20); участок Д — на остановке общественного транспорта «Моздокская», ул. Елецкая, 2г;
- набережная в Советском районе Тулака — участок Е;
- Нулевая продольная магистраль: участок Ж — Набережная 62-й Армии вблизи исторического парка «Россия — моя история» и напротив памятника «Гаситель»; участок З — Набережная 62-й Армии в районе музея-заповедника «Сталинградская битва»; участок И — Набережная 62-й Армии в районе моста;
- прибрежная территория в Ворошиловском районе, на которой проектируется новый участок улично-дорожной сети Нулевой продольной магистрали: участок К — вблизи дома № 1 по ул. Одесской.

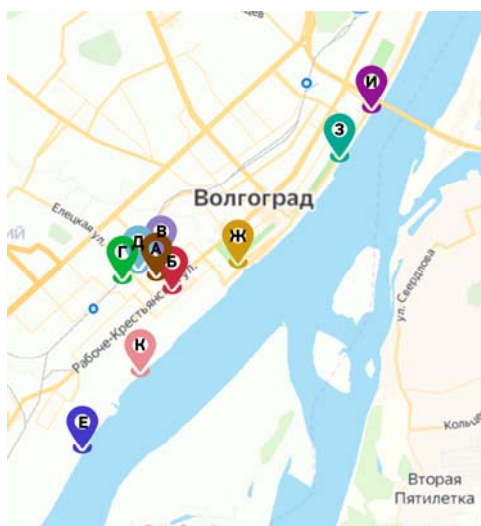


Рис. 3. Карта-схема Волгограда с указанием участков исследования

Цель данного исследования состоит в мониторинге параметров микроклимата городской территории вблизи автодорог для оценки уровня комфортности среды [3]. Основными задачами исследования являются сбор, обработка, анализ фактических данных и разработка принципиальных предложений по оптимизации параметров микроклимата городской среды.

В соответствии с программой исследования регистрация температуры осуществлялась на поверхности дорожного полотна, участках открытого грунта вдоль автодороги, участках, покрытых зеленой растительностью (травой), и на тротуаре [10]. Наблюдения и регистрация параметров микроклимата проводились 27 апреля и 17 июня 2022 г. Температура наружного воздуха составляла +25...+26 °С, небо безоблачное, скорость ветра 2 м/с, направление ветра юго-западное. Регистрация параметров производилась в характерных точках: вблизи пешеходного перехода под прямыми лучами солнца и в тени здания или деревьев (рис. 4).

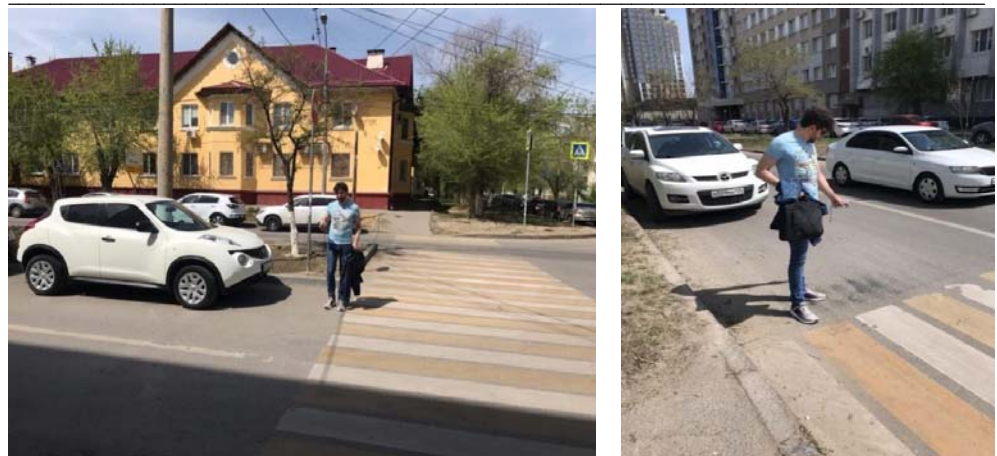


Рис. 4. Регистрация параметров микроклимата на участке А — пересечении ул. Академической и ул. Социалистической в Ворошиловском районе Волгограда

Для контроля и фиксации параметров микроклимата было использовано оборудование: современный бесконтактный инфракрасный термометр (пирометр) фирмы «Питон» модельного ряда 105, погрешность измерений $\pm 2^\circ\text{C}$ при $t < 100^\circ\text{C}$, $\pm 2\%$ при $t > 100^\circ\text{C}$, диапазон измерения от -20°C до $+550^\circ\text{C}$, коэффициент теплового излучения $0,1\dots 1,0$ с шагом $0,01$. Обмер исследуемых объектов осуществлялся с помощью лазерного дальномера BOSCH GLM 80 Professional, диапазон измерений $0,05\dots 80,00$ м. Фотофиксация производилась с помощью смартфонов.

На каждом участке проводились замеры в 8—11 точках, все результаты измерений фиксировались в электронном журнале. По результатам исследований составлены графические схемы и сводные таблицы. На рис. 5 и в табл. 3 представлены результаты замеров параметров микроклимата на примере участка А.

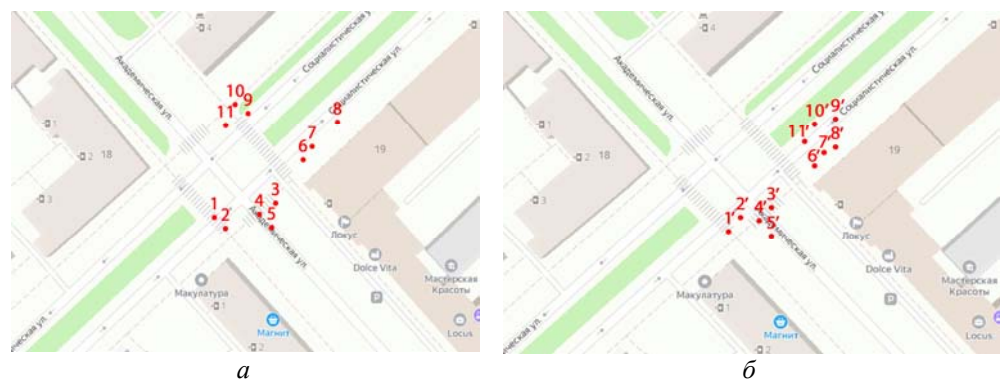


Рис. 5. Места проведения измерений на участке А — пересечении ул. Академической и ул. Социалистической в Ворошиловском районе Волгограда и результаты измерений: *а* — замеры на затененной поверхности; *б* — замеры на незатененной поверхности

Таблица 3

*Электронный журнал результатов замеров параметров микроклимата
 на участке А*

Затененная поверхность		Незатененная поверхность	
Номер точки измерения	Температура поверхности, °С	Номер точки измерения	Температура поверхности, °С
1	+24,8	1'	+33,8
2	+26,1	2'	+31,4
3	+28,2	3'	+32,7
4	+25,3	4'	+36,3
5	+27,7	5'	+33,0
6	+23,9	6'	+36,4
7	+24,0	7'	+39,1
8	+27,6	8'	+40,7
9	+22,8	9'	+40,5
10	+24,0	10'	+39,6
11	+23,8	11'	+34,2

По итогам проведенных измерений установлено, что температура поверхности покрытий автомобильных дорог и прилегающей территории на затененных участках колеблется в пределах +22,8...+28,2 °С, на незатененных участках +31,4...+40,7 °С; таким образом, в среднем разница температур между затененными и незатененными участками составила +9,7 °С (рис. 6).

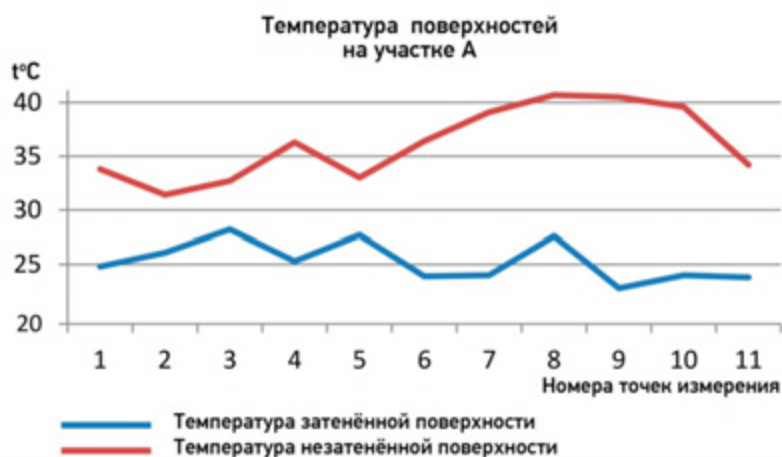


Рис. 6. График температуры поверхностей на участке А

Вблизи пешеходного перехода по ул. Академической, 11 зафиксировано затенение дорожного полотна кроной дерева вяза с диаметром кроны приблизительно 14 м, средняя температура дорожного покрытия составила 26,8 °С (рис. 7).



Рис. 7. Затенение на участке А вблизи пешеходного перехода на пересечении ул. Академической и ул. Социалистической в Ворошиловском районе Волгограда

На незатененных участках вблизи пешеходного перехода температура поверхности достигала $+42,5^{\circ}\text{C}$, что несет опасность теплового стресса для пользователей данной территории. Такая температурная обстановка на поверхностях дорожного полотна свидетельствует о том, что затенение имеет значительную эффективность в создании благоприятных комфортных условий.

Также измерения температуры дорожного полотна проводились в прибрежной зоне в Центральном и Ворошиловском районах. Их результат показал, что температура затененных участков автомобильного полотна и прилегающих тротуаров в среднем ниже на $10,7^{\circ}\text{C}$, что приблизительно соответствует результатам в жилой застройке. Самая высокая средняя температура зафиксирована на участке И около моста через Волгу: $+48,6^{\circ}\text{C}$. Минимальное среднее значение температуры $+38,3^{\circ}\text{C}$, оно было отмечено на участке З в районе музея-заповедника «Сталинградская битва».

Проведенные измерения температурного режима поверхностей дорожной инфраструктуры показали, что нагрев поверхностей, находящихся под прямым солнечным излучением, зависит от разновидности материала, из которого они выполнены, а также от их цвета. Так, например, поверхность цементной брусчатки светло-бежевого цвета составила $+42,7^{\circ}\text{C}$, тогда как та же температура поверхности брусчатки серого цвета составила $+47,4^{\circ}\text{C}$; таким образом, разница составила $+4,7^{\circ}\text{C}$.

Расположение дорожного полотна в непосредственной близости к открытому водоему, в данном случае к Волге, не влияет на нагрев поверхности автодороги. Большая площадь открытых поверхностей не затеняется, потому происходит нагрев дорожного полотна. В жилой зоне имеются зеленые насаждения, застройка, которые в течение дня создают тень, благодаря чему формируется более благоприятный микроклимат, чем в прибрежной зоне.

Выводы

1. Сформированные целевые установки по обеспечению благоприятного состояния окружающей природной и социальной среды в зоне влияния ПТС ДТИ ПЗ Волгограда позволяют обоснованно определить перечень потребительских требований жителей и гостей города к благоприятной окружающей среде и обеспечению экологической устойчивости и безопасности прибрежной территории Волгограда.

2. Установленный перечень критериальных и оценочных показателей подсистемы экологических потребительских свойств ПТС ДТИ ПЗ позволяет

обоснованно формулировать перечень требований к проектированию дорожно-транспортной инфраструктуры, направленный на обеспечение экологической устойчивости и безопасности прибрежной территории.

3. Проведенные исследования температурных режимов в различных зонах прибрежной территории и городской застройки позволили установить, что температура поверхностей отличается незначительно. В жилой зоне зафиксировано большее количество участков дорог с затененной поверхностью, чем в прибрежной зоне. Разница температур затененных и незатененных участков дорог и придорожной территории составляет более 10 °С. Кроме того, выявлена разница температур поверхностей разного цвета.

4. Для обеспечения благоприятного температурного режима в местах скопления и активного передвижения жителей на объектах и элементах дорожно-транспортной инфраструктуры в прибрежной зоне Волгограда и вблизи жилой зоны предложено увеличить количество зеленых насаждений в придорожной полосе, особенно на подходах к пешеходным переходам. При строительстве пешеходных дорожек и тротуаров необходимо использовать материалы светлых тонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофименко Ю. В., Карев С. В. Экологическая политика в дорожной отрасли до 2035 г.: целевые ориентиры и пути их достижения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2021. № 2(96). С. 1—6.
2. Девятков М. М., Вилкова И. М. О стратегии развития и модернизации дорожно-транспортной инфраструктуры города в рамках стратегии социально-экономического развития Волгограда до 2030 года // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 203—219.
3. Девятков М. М., Вилкова И. М., Сапожкова Н. В. Основы теории модернизации улично-дорожной сети муниципальных образований : моногр. Волгоград : Волгогр. гос. техн. ун-т, 2021. 227 с.
4. Baier R., Ackva A., Baier M. Strassen und Plätzegestaltung: Beispiele aus der Praxis. Druckerei J. P. Bachem GmbH. Köln, 2000.
5. Empfehlungen zur Strassenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete. ESG 96. Ausgabe, 1996. 117 s.
6. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für die Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 91). Köln, 1991.
7. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Straßen und Lebensräume. Heft 654, 1993.
8. Nr. 1 Empfehlungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung. Verkehrsberuhigung in Wohnbereichen / Pfundt Konrad und andere // Verband der Autoversicherer. Feb. 1980.
9. Прикладные проблемы системотехники / А. В. Ильичев, В. С. Петровский, В. И. Большов и др. ; под ред. А. В. Ильичева. М. : Машиностроение, 1995. 240 с.
10. Цернант А. А. Экологический подход к инженерно-строительной деятельности (транспортное строительство) // Сб. тр. ЦНИИС. Философия транспорт. стр-ва. № 255. С. 5—28.
11. Merkblatt über bauliche Massnahmen zur Verkehrsberuhigung. FGSV, 1994. 28 s.
12. Papacostas C. S., Prevedouros P. D. Transportation Engineering and Planning. 2nd Edition, 1993. 642 p.
13. Prinz D. Gestaltung von Strassen und Strassenräumen // Städtebau. 1997. Band 2. Städtebauliches Gestalten. Kohlhammer/Architektur. 6 Aufgabe.
14. Weise G., Durch W. Strassenbau: Planung und Entwurf. Berlin : Verl. fuer Bauwesen, 1997. 436 s.
15. Девятков М. М. Основы теории модернизации сети автомобильных дорог городов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2010. № 4. С. 10—15.

© Девятков М. М., Сапожкова Н. В., Дубов И. А., Назаров К. Р., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Деятов М. М., Сапожкова Н. В., Дубов И. А., Назаров К. Р. Экологические потребительские свойства дорожно-транспортной инфраструктуры прибрежной территории Волгограда как природно-технической системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 88—98.

Об авторах:

Деятов Михаил Михайлович — канд. техн. наук, проф., проф. каф. изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Сапожкова Наталья Васильевна — канд. техн. наук, доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; sapozhkovanv@rambler.ru

Дубов Игорь Александрович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dubov_i_architect@mail.ru

Назаров Константин Романович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; nazkostja@gmail.com

Mikhail M. Devyatov, Natal'ya V. Sapozhkova, Igor A. Dubov, Konstantin R. Nazarov

Volgograd State Technical University

ECOLOGICAL CONSUMER PROPERTIES OF THE ROAD TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE COASTAL TERRITORY OF VOLGOGRAD AS A NATURAL AND TECHNICAL SYSTEM

The article presents a system of ecological consumer properties in order to determine the favorable state of the natural and social environment on roadside territories in the coastal zone and residential construction. Measurements of the microclimate parameters of urban areas near highways have been carried out and recommendations for improving the environmental conditions of roadside territories have been proposed.

Key words: road transport infrastructure, coastal territory of Volgograd, natural and technical system, microclimate.

For citation:

Devyatov M. M., Sapozhkova N. V., Dubov I. A., Nazarov K. R. [Ecological consumer properties of the road transport infrastructure of the coastal territory of Volgograd as a natural and technical 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. 4, pp. 88—98.

About authors:

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

Natal'ya V. Sapozhkova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sapozhkovanv@rambler.ru

Igor A. Dubov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dubov_i_architect@mail.ru

Konstantin R. Nazarov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; nazkostja@gmail.com

УДК 539.32

О. В. Коновалов, Л. М. Арзамаскова, Е. Е. Евдокимов

Волгоградский государственный технический университет

ВЕКТОРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ КОНСТАНТ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ И КОНСТАНТ УПРУГОЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НЕОДНОРОДНОСТИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

Рассматривается методика построения пространственно ориентированных моделей констант упругой податливости и упругой жесткости на микроуровне. Исследуются поликристаллические материалы с кубической объемноцентрированной, гранецентрированной и гексагональной решеткой. На основании построенных объемных моделей модулей упругости и сдвига исследуется анизотропия упругих свойств поликристаллов различных металлов. Результаты работы можно использовать при изучении свойств материалов на микроуровне.

Ключевые слова: анизотропия, модуль упругости, упругие свойства, поликристалл, модуль Юнга.

Особенности кристаллической решетки определяют неоднородность упругих свойств поликристаллических материалов, что связано с анизотропией характеристик составляющих поликристаллы зерен.

Пространственная решетка поликристалла характеризуется внутренним неконтиуальным строением с расположением материальных частиц в определенном порядке [1, 2].

При приложении нагрузки вследствие возникающего напряжения происходит деформация твердого тела. Известно, что при достаточно малых напряжениях деформация пропорциональна величине приложенного напряжения. Предположим, например, что изотропный твердый стержень испытывает чистое растяжение. Согласно закону Гука,

$$\varepsilon = s\sigma, \quad (1)$$

где s — константа, называемая константой упругой податливости или податливостью для данной конкретной системы напряжений и данного направления деформаций. Вместе с тем мы можем записать

$$\sigma = c\varepsilon, \quad c = \frac{1}{s}, \quad (2)$$

где c — константа упругой жесткости или просто жесткость; c называется также модулем Юнга.

В табл. 1 представлено количество независимых констант упругой податливости и упругой жесткости для различных систем.

Таблица 1

Количество независимых констант упругой податливости и упругой жесткости для различных систем

Триклинная	Моноклинная	Тетрагональная	Кубическая	Ромбическая	Гексагональная	Тригональная
21	13	6,7	3	9	5	6,7

Константа упругой жесткости определяется в направлении растяжения при единичном продольном напряжении [2]:

$$E = \frac{1}{s'_{11}}, \quad (3)$$

где s_{11} — продольная деформация.

После преобразования получаем [3, 4]:

$$s'_{1111} = a_{1m}a_{1n}a_{1p}a_{1q}s_{mnpq}. \quad (4)$$

Для кубических кристаллов с использованием формулы преобразования тензора $4R$ [5, 6]:

$$\begin{aligned} s'_{1111} = & (a_{11}a_{11}a_{11}a_{11} + a_{12}a_{12}a_{12}a_{12} + a_{13}a_{13}a_{13}a_{13})s_{11} + \\ & + (a_{11}a_{11}a_{12}a_{12} + a_{11}a_{11}a_{13}a_{13} + a_{12}a_{12}a_{11}a_{11} + a_{12}a_{12}a_{13}a_{13} + a_{13}a_{13}a_{11}a_{11} + \\ & + a_{13}a_{13}a_{12}a_{12})s_{12} + (a_{11}a_{12}a_{11}a_{12} + a_{11}a_{12}a_{12}a_{11} + a_{11}a_{13}a_{11}a_{13} + a_{11}a_{13}a_{13}a_{11} + \\ & + a_{12}a_{11}a_{11}a_{12} + a_{12}a_{11}a_{12}a_{11} + a_{12}a_{13}a_{12}a_{13} + a_{12}a_{13}a_{13}a_{12} + a_{13}a_{11}a_{11}a_{13} + \\ & + a_{13}a_{11}a_{13}a_{11} + a_{13}a_{12}a_{12}a_{13} + a_{13}a_{12}a_{13}a_{12})\frac{1}{4}s_{44}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для гексагональных кристаллов с использованием формулы преобразования тензора $4R$ [5, 7]:

$$\begin{aligned} s'_{1111} = & \left(a_{11}a_{11}a_{11}a_{11} + a_{12}a_{12}a_{12}a_{12} + \frac{1}{2}a_{11}a_{12}a_{11}a_{12} + \frac{1}{2}a_{11}a_{12}a_{12}a_{11} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2}a_{12}a_{11}a_{11}a_{12} + \frac{1}{2}a_{12}a_{11}a_{12}a_{11} \right) s_{11} + (a_{11}a_{11}a_{12}a_{12} + a_{12}a_{12}a_{11}a_{11} - \\ & - \frac{1}{2}a_{11}a_{12}a_{11}a_{12} - \frac{1}{2}a_{11}a_{12}a_{12}a_{11} - \frac{1}{2}a_{12}a_{11}a_{11}a_{12} - \frac{1}{2}a_{12}a_{11}a_{12}a_{11}) s_{12} + \\ & + (a_{11}a_{11}a_{13}a_{13} + a_{12}a_{12}a_{13}a_{13} + a_{13}a_{13}a_{11}a_{11} + a_{13}a_{13}a_{12}a_{12}) s_{13} + \\ & + a_{13}a_{13}a_{13}a_{13}s_{33} + (a_{11}a_{13}a_{11}a_{13} + a_{11}a_{13}a_{13}a_{11} + a_{12}a_{13}a_{12}a_{13} + \\ & + a_{12}a_{13}a_{13}a_{12} + a_{13}a_{11}a_{11}a_{13} + a_{13}a_{11}a_{13}a_{11} + a_{13}a_{12}a_{12}a_{13} + a_{13}a_{12}a_{13}a_{12})\frac{1}{4}s_{44}. \end{aligned} \quad (6)$$

Зависимость модуля упругости и модуля сдвига от направления можно получить с использованием матриц податливостей [3, 8, 9] относительно кристаллографических осей.

Теория упругости кристаллов [9, 10] дает два уравнения для $1/E$ и $1/G$ как функций углов оси бруска с кристаллографическими осями; коэффициентами этих уравнений являются упругие параметры s_{ik} .

Для кристаллов с кубической решеткой [11] зависимость величин модуля упругости и модуля сдвига от ориентировки оси стержня [12, 13] определяется следующим образом:

$$\frac{1}{E} = s_{11} - 2 \left[(s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2} s_{44} \right] (a_{11}^2 a_{12}^2 + a_{12}^2 a_{13}^2 + a_{13}^2 a_{11}^2),$$

$$\frac{1}{G} = s_{44} + 4 \left[(s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2} s_{44} \right] (a_{11}^2 a_{12}^2 + a_{12}^2 a_{13}^2 + a_{13}^2 a_{11}^2). \quad (7)$$

В данном случае a_{11} , a_{12} , a_{13} представляют собой косинусы углов, образуемых осью стержня с тремя ребрами куба ($a_{11}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 = 1$) [14].

Для кристаллов с гексагональной решеткой [13, 15, 16] упругие свойства определяются в зависимости от ориентировки оси стержня:

$$\frac{1}{E} = s_{11} (1 - a_{13}^2)^2 + s_{33} a_{13}^4 + (2s_{13} + s_{44}) a_{13}^2 (1 - a_{13}^2),$$

$$\frac{1}{G} = s_{44} + \left[(s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2} s_{44} \right] (1 - a_{13}^2) + 2(s_{11} + s_{33} - 2s_{13} - s_{44}) a_{13}^2 (1 - a_{13}^2). \quad (8)$$

В связи с тем, что упругие свойства обладают симметрией вращения по отношению к шестерной оси [13, 17] в уравнения (8) входит только косинус a_{13} угла с гексагональной осью.

Пространственную сферическую систему координат (рис. 1) используем для вычисления модулей упругости в направлениях x , y , z [18], где

$$x = r \sin(\theta) \cos(\varphi);$$

$$y = r \sin(\theta) \sin(\varphi); \quad (9)$$

$$z = r \cos(\theta),$$

а косинусы соответствующих углов [2] равны

$$a_{11} = \frac{x}{r} = \sin(\theta) \cos(\varphi);$$

$$a_{12} = \frac{y}{r} = \sin(\theta) \sin(\varphi); \quad (10)$$

$$a_{13} = \frac{z}{r} = \cos(\theta).$$

Для получения пространственного представления о неоднородности модулей упругости и податливости поликристаллов строятся объемные (векториальные) модели модулей [2].

Полученные векториальные модели для кубических гранецентрированных кристаллов представлены на рис. 2.

На рис. 3 представлены пространственные модели для кристаллов с гексагональной решеткой.

На рис. 4 представлена пространственная модель для кристаллов с тригональной решеткой.

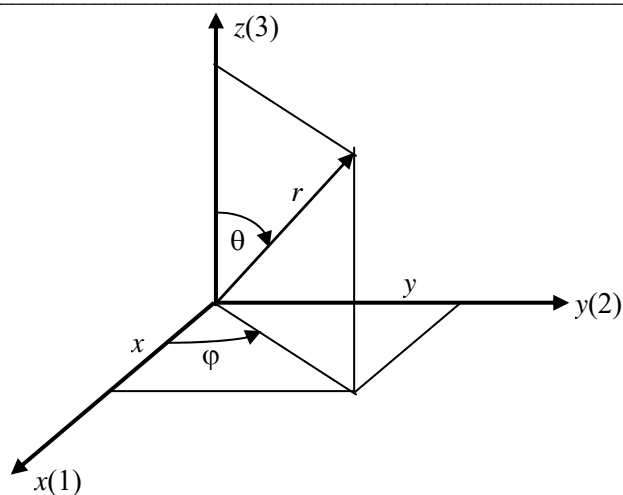


Рис. 1. Пространственная сферическая система координат

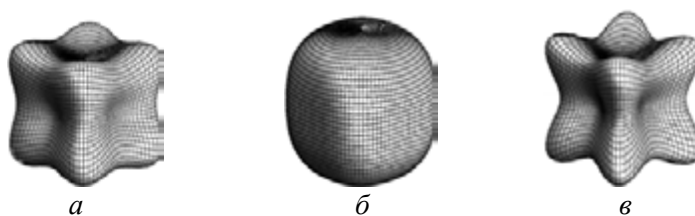


Рис. 2. Пространственные модели, характеризующие упругую жесткость:
a — железа; *б* — алюминия; *в* — меди

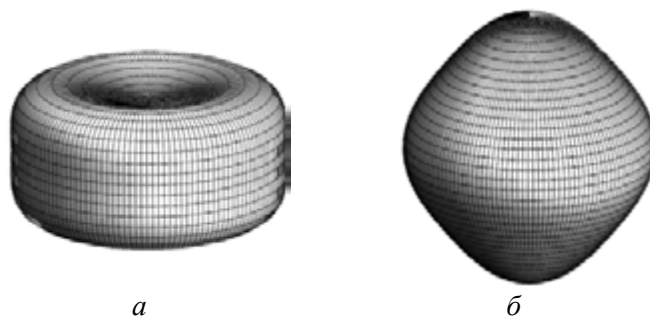


Рис. 3. Пространственные модели, характеризующие упругую жесткость:
a — цинка; *б* — магния

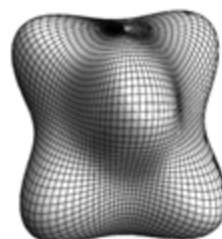


Рис. 4. Пространственная модель, характеризующая упругую жесткость кварца

Вследствие того, что в преобразование (9) входит только косинус угла, пространственная модель, характеризующая упругую жесткость кристаллов с гексагональной решеткой, представляет собой поверхность вращения.

Для кристаллов с кубической решеткой пространственная модель, характеризующая упругую жесткость, имеет форму скругленного куба с углублениями в центре осевых поверхностей.

В случае, когда составляющая $\left[(s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2}s_{44} \right]$ уравнения (7) принимает нулевые значения, наблюдается упругая изотропия.

Модуль упругой жесткости на микроуровне при условии, что выражение $\left[(s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2}s_{44} \right]$ принимает отрицательное значение, имеет максимум в направлении $\langle 100 \rangle$ и минимум в направлении $\langle 111 \rangle$.

Анизотропию упругих свойств исследованных кристаллов можно также оценить, помимо известного параметра анизотропии, определяемого как $A = (c_{11} - c_{12}) / 2c_{44}$, по отношениям наибольших к наименьшим значениям модулей упругости кристаллов. Отношения наибольших к наименьшим значениям модулей, полученные по данным работ и вычисленные нами, представлены в табл. 2, из рассмотрения которой можно оценить степень анизотропии упругих свойств.

Исходя из формы векториальных моделей, показанных на рис. 2 и 3, видно, что неоднородность упругих свойств имеет значительный разброс.

Аналогичные выводы можно сделать, анализируя векториальные модели модуля сдвига G .

Т а б л и ц а 2

Отношения максимальных значений модуля Юнга к минимальным значениям для сильноанизотропных поликристаллов

$\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$	Железо	Медь	Цинк
	2,14	2,86	3,55

Наибольший разброс величин податливости характерен для β -латуни: отношение $\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$ может достигать значений 8...9.

В табл. 3 приведены отношения максимальных значений модуля Юнга к минимальным значениям для слабоанизотропных поликристаллов.

Т а б л и ц а 3

Отношения максимальных значений модуля Юнга к минимальным значениям для слабоанизотропных поликристаллов

$\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$	Магний	Алюминий
	1,16	1,22

Пространственные модели, описывающие упругие свойства изотропных тел, представляют собой сферическую поверхность, что характеризует равенство упругих свойств во всех направлениях.

Пространственные модели, характеризующие упругую жесткость поликристаллов железа, алюминия, меди, цинка и магния, наглядно показывают зависимость модуля Юнга от пространственного положения по отношению к осям. Данное обстоятельство дает наглядное представление о неоднородности упругих свойств поликристаллов с гексагональной, гранцентрированной и тригональной решеткой.

При исследовании констант упругой податливости для данной конкретной системы напряжений и данного направления деформации можно сделать аналогичные выводы, анализируя пространственные модели модуля сдвига G .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов / Пер. с англ. М. : Мир, 1967. 386 с.
2. Шермергор Т. Д. Теория упругости микронеднородных сред. М. : Наука, 1977. 399 с.
3. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. М. : Наука, 1979. 639 с.
4. Kelly A., Growes G. Krystallography and crystal defects. London : Longman, 1970. 496 p.
5. Hill R. Elastic behaviour of a crystalline aggregate // Proc. Phys. Soc. 1952. A 65. Pp. 349—354.
6. Кукса Л. В., Арзамаскова Л. М. Метод оценки масштабного эффекта упругих свойств однофазных и двухфазных поликристаллических материалов на микро-, мезо- и макроуровнях // Заводская лаборатория. 1999. № 5. С. 29—35.
7. Bunge H. J., Schwarzer R. Orientierungsstereologie — ein neuer Zweig der Texturforschung // Contact. Zeitschrift des Vereins von Freunden der Technischen Universität Clausthal. 1998. № 2. S. 67—73.
8. Евдокимов Е. Е., Арзамаскова Л. М., Клименко В. И., Коновалов О. В. Исследование концентрации напряжений в элементах конструкций из поликристаллических материалов // Инженер. вестн. Дона. 2018. № 4.
9. Кукса Л. В., Арзамаскова Л. М. Упругие свойства поликристаллов различных металлов их определение на основе построения векториальных моделей модуля Юнга и модуля сдвига для монокристаллов // Вестн. ВолгГАСУ. 2013. Вып. 32(51). С. 101—109.
10. Kuksa L. W., Arzamaskova L. M. Der Massstabeffekt der mechanischen Eigenschaften auf der Mikro-, Meso-, Makroebene einphasiger und zweiphasiger polykristalliner Werkstoffe // Technische Mechanik. Deutschland. 2001. Band 21. Heft 1. S. 21—30.
11. Способ определения упругих свойств однофазных металлов : пат. RU 2410759 С2 Рос. Федерация : МПК G09B 23/26 / Л. В. Кукса, Л. М. Арзамаскова, А. В. Сергеев : опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3.
12. Кукса Л. В. Механика структурно-неоднородных материалов на микро- и макроуровнях : моногр. Волгоград : ВолгГАСА, 2002.
13. Huntington G. Elastische beständige Kristalle // Erfolge der physischen Wissenschaften. 1967. B. 74. Ausgabe 2. S. 302. Ausgabe 3. S. 464.
14. Schmid E., Boas W. Kristallplastizität. Berlin, 1935. 386 s.
15. Voigt W. Lehrbuch der Kristallphysik. Berlin : Teubner, 1928. 962 s.
16. Kelly A., Growes G. Krystallography and crystal defects. London : Longman, 1970. 496 s.
17. Nye J. F. Physical Properties of Crystals. Oxford : Clarendon press, 1964. 386 s.
18. Reuss A. Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle // Z. angew. Math. und Mech. 1929. 9. Nr1. S. 49—58.

© Коновалов О. В., Арзамаскова Л. М., Евдокимов Е. Е., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Коновалов О. В., Арзамаскова Л. М., Евдокимов Е. Е. Векториальные модели констант упругой податливости и констант упругой жесткости при исследовании неоднородности упругих свойств поликристаллов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 99—105.

Об авторах:

Коновалов Олег Владимирович — канд. тех. наук, доц., доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; miit.vgasu@mail.ru

Арзамаскова Лариса Михайловна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; stroymech@vgasu.ru

Евдокимов Евгений Евгеньевич — канд. тех. наук, доц., доц. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; stroymech@vgasu.ru

Oleg V. Kononov, Larisa M. Arzamaskova, Evgenii E. Evdokimov

Volgograd State Technical University

**VECTORIAL MODELS OF ELASTIC COMPLIANCE CONSTANTS
AND ELASTIC STIFFNESS CONSTANTS IN THE STUDY OF HETEROGENEITY
OF ELASTIC PROPERTIES OF POLYCRYSTALS**

The construction of vectorial models of Young's modulus and shear modulus for cubic face-centered, cubic volume-centered and hexagonal crystals is considered. The anisotropy of elastic properties of polycrystals of various metals is investigated on the basis of the constructed volumetric models of elastic and shear modulus. The results of the work can be used to study the properties of materials at the micro level.

Key words: anisotropy, modulus of elasticity, elastic properties, polycrystal, Young's modulus.

For citation:

Kononov O. V., Arzamaskova L. M., Evdokimov E. E. [Vectorial models of elastic compliance constants and elastic stiffness constants in the study of heterogeneity of elastic properties of polycrystals]. *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. 4, pp. 99—105.

About authors:

Oleg V. Kononov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; miit.vgasu@mail.ru

Larisa M. Arzamaskova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; stroymech@vgasu.ru

Evgenii E. Evdokimov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; stroymech@vgasu.ru

УДК 691.5:546.46

Т. К. Акчурин, А. В. Савченко, Г. П. Губаревич, И. В. Стефаненко

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Приведена краткая характеристика магнезиальных вяжущих материалов. Исследовано влияние различных добавок (жидкого стекла — силиката натрия, поливинилацетата — ПВА, гидроксида алюминия) на прочностные свойства образцов-балочек на основе магнезиальных вяжущих материалов: предел прочности на сжатие и на растяжение при изгибе. По коэффициенту размягчения дана оценка влияния добавок на водостойкость.

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее, предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при изгибе, гидроксид алюминия, жидкое стекло, ПВА, коэффициент размягчения.

Магнезиальное вяжущее и изделия на его основе давно используются в разных сферах современного строительства. К настоящему времени сформировалась краткая характеристика, отражающая достоинства и недостатки данного материала. К достоинствам относят:

1. Высокие прочностные характеристики на сжатие и растяжение. Проведенные исследования показывают, что растворы на магнезиальных вяжущих при высоком качестве сырья достигают через 28 сут предела прочности на сжатие 80...100 МПа, на растяжение — около 2 МПа [1—3]. Данные показатели позволяют применять магнезиальное вяжущее при производстве сборных или монолитных конструкций и изделий, бесшовных полов в промышленных и гражданских зданиях и др.

2. Высокую скорость твердения. По сравнению с бетонными смесями магнезиальные считаются нормально схватывающимися быстротвердеющими материалами. Так, твердение вяжущих на каустическом магнезите начинается не ранее 20 мин от начала затворения, конец схватывания наступает не позднее чем через 6 ч [4—6]. При использовании каустического доломита схватывание наступает не позднее чем через 3 ч.

3. Повышенную прочность сцепления с органическими заполнителями (древесными опилками, стружкой и т. п.) — это обусловлено нейтральным химическим составом вяжущего, что обеспечивает защиту от загнивания заполнителя [1, 5, 7]. Поэтому материалы на основе магнезиальных вяжущих имеют повышенные теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства.

4. Биостойкость и беспыльность поверхностей. Благодаря своему химическому составу на поверхности магнезиальных вяжущих не образуются пыль, бактерии и грибки, что позволяет использовать изделия из этого материала в гражданских и общественных зданиях [8—10].

Однако, как и у любого другого материала, у магнезиальных вяжущих и изделий, кроме положительных сторон, есть и недостатки. К ним относятся:

1. Низкая водостойкость. Основной причиной является высокая гигроскопичность материалов и изделий. Данный процесс происходит из-за образования водорастворимых кристаллогидратов — гидроксохлоридов и гидроксосульфатов магния, которые образуются при твердении вяжущего [3], что приводит к снижению прочности, образованию трещин, потере теплофизических и звукоизоляционных свойств.

2. Высокие внутренние напряжения в изделиях. Это объясняется тем, что гидроксид магния как тонкодисперсный продукт во время реакции покрывает частицы MgO и тормозит диффузию. Чем больше удельная поверхность MgO, тем интенсивнее протекает гидратация на его поверхности в ранние сроки. Поскольку гидратация — экзотермический процесс, при локальном повышении температуры быстро происходит кристаллизация гелеобразного $Mg(OH)_2$.

Появление деформаций, возникающих при твердении магнезиальных вяжущих, обуславливается:

а) особенностями гидратации магнезиального вяжущего при его затворении низкоактивными растворами;

б) различиями в активности и степенях закристаллизованности кристаллов оксида магния в магнезиальных вяжущих;

в) использованием при производстве вяжущего низкокачественного сырья или нарушениями технологии производства материалов и изделий. Все это приводит к потере несущей способности, образованию трещин и, как следствие, разрушению материала [3, 11].

Для устранения недостатков магнезиальных вяжущих предлагаются следующие решения:

1. Замена затворителя. Самым распространенным затворителем при изготовлении магнезиальных материалов является шестиводный хлорид магния. Он имеет оптимальный состав, удобен при применении, недорогой. Однако большинство изделий, затворенных данным рассолом, обладают высокой гигроскопичностью, достигающей 7...8 %, и низкой водостойкостью. Возможно применение других видов затворителей, таких как сульфат магния $MgSO_4$, дигидроортофосфат аммония $NH_4H_2PO_4$, водные растворы NaCl, KCl и т. д. Получаемые изделия обладают высокими гигроскопическими свойствами (гигроскопичность снижается до 0,64...0,45 %) при сохранении высоких прочностных характеристик [12—16].

2. Покрытие магнезиальных изделий водоотталкивающими средствами и их пропитка — это один из простых способов улучшения свойств магнезиальных строительных изделий. Покрытия защищают материалы от проникновения влаги, паров в изделия, воздействия различных агрессивных сред и др. [17].

3. Использование активных заполнителей — включение модифицированных тонкодисперсных минеральных добавок, за счет которых формируется направленная структура вяжущего, дополнительно к оксигидрохлоридам магния, водостойких гидросиликатов магния (сепиолита, антигорита, талька), а также снижение количества образующегося гидроксида магния за счет повышения плотности затворителя до $1,24 \text{ г/см}^3$. Введение в состав магнезиального

вяжущего модифицирующих добавок позволяет получить водостойкий магнезиальный камень с коэффициентом размягчения 0,82, что достигается при следующих оптимальных количествах добавок: активная минеральная добавка (микрокремнезем) — 7...12 %, добавка-кренг (тальк) — 4...8 %. При этом для получения водостойкого магнезиального камня на модифицированном вяжущем необходимо использовать затворитель с плотностью не менее 1,24 г/см³ [18—20].

Экспериментальная часть проведена в лаборатории кафедры строительных материалов и специальных технологий Института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технологического университета.

При изготовлении образцов из магнезиальных вяжущих использовались следующие материалы: порошок магнезитовый каустический ПМК-83; бишофит предприятия «Волгоградский магнезый завод» плотностью 1,33 г/см³; жидкое натриевое стекло Na₂SiO₃; строительный поливинилацетатный клей (ПВА); гидроксид алюминия Al(OH)₃.

Определяли влияние добавок на прочностные характеристики (предел прочности на сжатие и на растяжение при изгибе) образцов-балочек стандартных размеров 40 × 40 × 160 мм. Образцы-балочки твердели в воздушно-сухих условиях 7 сут и 28 сут.

Добавки в магнезиальное вяжущее вводились различными способами:

1) натриевое жидкое стекло Na₂SiO₃ добавлялось непосредственно в готовое тесто, что придавало вяжущему пластичность и удобоукладываемость;

2) строительный поливинилацетатный клей (ПВА) добавлялся в разбавленном в воде виде вместе с бишофитом;

3) гидроксид алюминия Al(OH)₃ добавлялся просеянным через сито № 05 в сухое вяжущее, смесь перемешивалась до однородного состояния.

Влияние добавок на предел прочности на сжатие представлено на рис. 1 и 2. Наибольшие показатели предела прочности при сжатии показали образцы, содержащие 3 % Na₂SiO₃, 1 % ПВА, 10 % Al(OH)₃. Максимальное значение предела прочности при сжатии достигается при добавлении 10 % гидроксида алюминия.

Во всех случаях использование в составе магнезиальных вяжущих добавок приводило к увеличению пределов прочности на сжатие. Однако дальнейшее увеличение концентрации добавок (выше экспериментально найденного оптимального значения) приводит к снижению прочности образцов.

Влияние добавок на предел прочности на растяжение при изгибе представлено на рис. 3. В большинстве случаев введение добавок приводит к снижению прочности на растяжение при изгибе, незначительное увеличение наблюдается при добавлении 1 % и 3 % Al(OH)₃.

Водостойкость образцов оценивалась по коэффициенту размягчения: отношение предела прочности на сжатие образцов, твердевших 28 сут в воздушно-сухих условиях, а затем помещенных в воду и выдержанных в ней в течение двух суток, к пределу прочности на сжатие образцов, твердевших 28 сут в воздушно-сухих условиях (рис. 4). Во всех случаях использование добавок снижает водостойкость магнезиального вяжущего по сравнению с образцами без добавок.

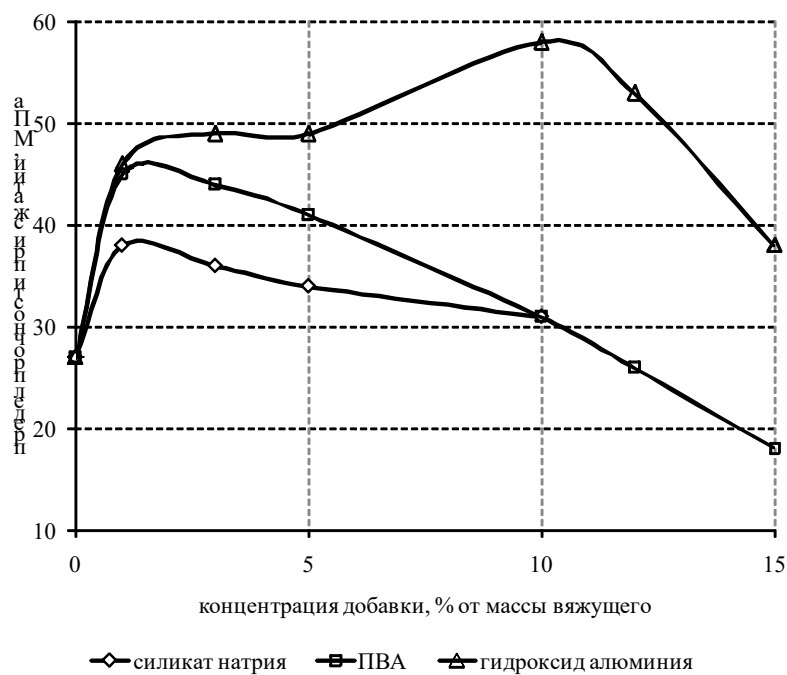


Рис. 1. Влияние содержания добавок на предел прочности при сжатии образцов-балочек в возрасте 7 сут твердения

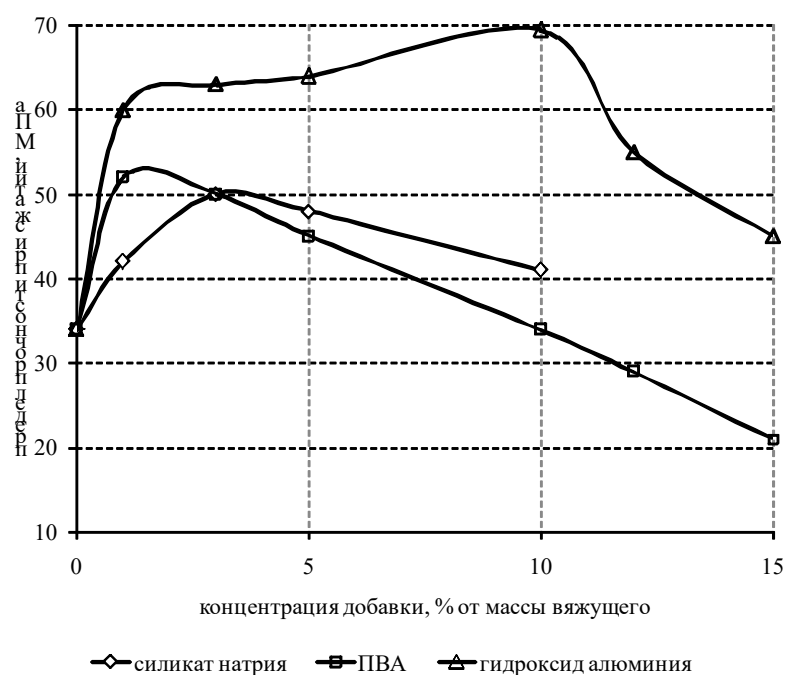


Рис. 2. Влияние содержания добавок на предел прочности при сжатии образцов-балочек в возрасте 28 сут твердения

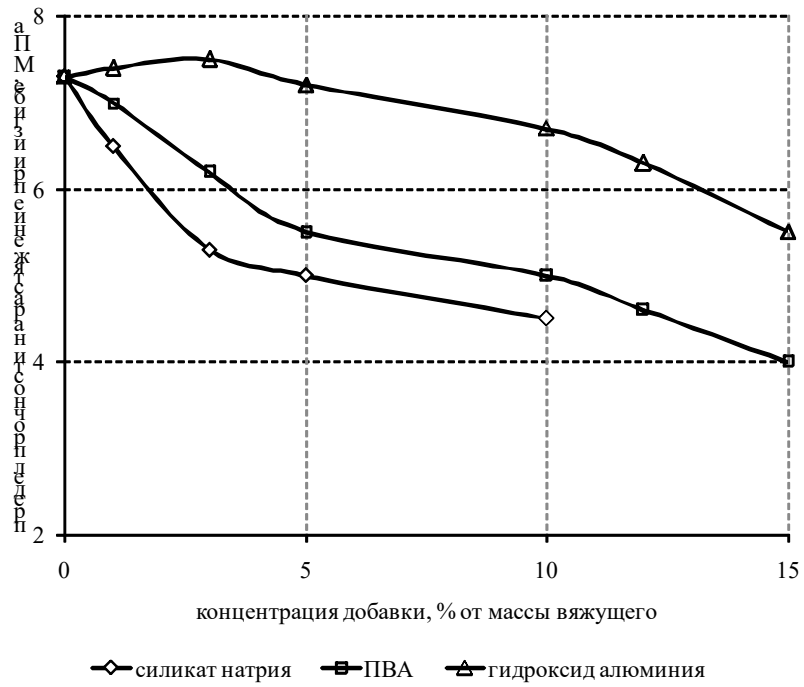


Рис. 3. Влияние содержания добавок на предел прочности на растяжение при изгибе образцов-балочек в возрасте 28 сут твердения

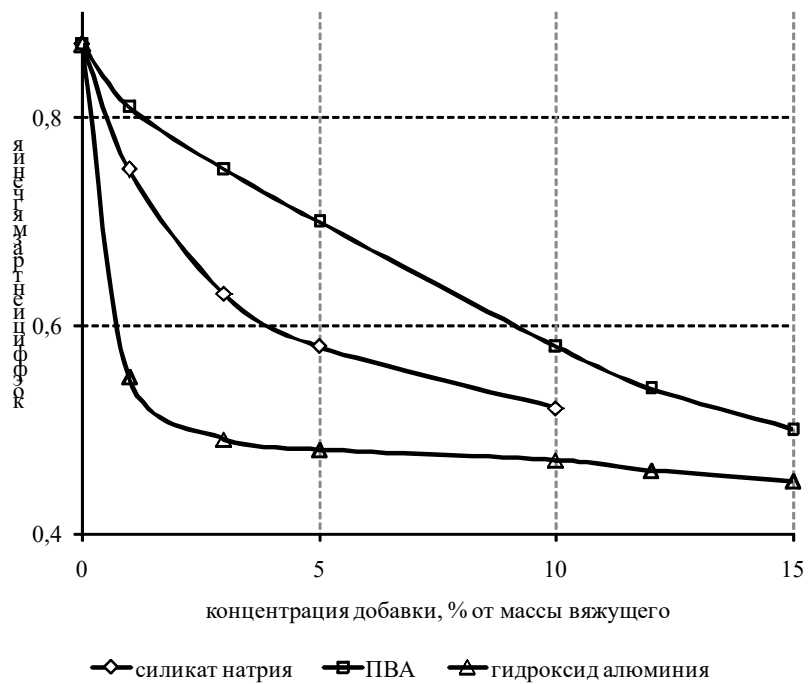


Рис. 3. Влияние содержания добавок на коэффициент размягчения

Выводы

1. Получен оптимальный состав магнезиального вяжущего с добавкой: водный раствор бишофита $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ плотностью $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$ и 10 % $Al(OH)_3$. Данный состав позволяет увеличить прочность при сжатии образцов до 70 МПа, что в два раза больше предела прочности при сжатии образцов без добавок.

2. Применение добавки гидроксида натрия в количестве 1...3 % незначительно увеличивает предел прочности на растяжение при изгибе. Добавки силиката натрия и ПВА снижают предел прочности на растяжение при изгибе.

3. Применение добавок силиката натрия, ПВА, гидроксида алюминия в количестве 1...15 % снижают водостойкость образцов на основе магнезиальных вяжущих.

4. Вероятно, повышение прочности при использовании гидроксида алюминия объясняется образованием новых минералов, которые имеют более высокие прочностные характеристики, изменением структуры образующегося конгломерата. Необходимы дополнительные исследования для определения минералогического состава и его влияния на свойства магнезиального вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Широкий Г. Т., Юхневский П. И., Бортницкая М. Г. Строительное материаловедение. Минск : Высшая школа, 2015. 464 с.
2. Позин М. Е. Технология минеральных солей. Л. : Химия, 1974. 792 с.
3. Митина Н. А., Лотов В. А., Сухушина А. В. Жидкость затворения для магнезиального вяжущего // Строительные материалы. 2015. Вып. 11. С. 64—68.
4. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительное материаловедение. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 832 с.
5. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные минералы и вяжущие материалы. М. : Инфра-Инженерия, 2011. 544 с.
6. Gur'eva V. A. Application of magnesium-bearing technogenic raw material in the production of decorative-finishing ceramics // Glass and Ceramics. 2009. Vol. 66. No. 3-4. Pp. 95—98.
7. Clifford Y. Tai, Chia-Te Tai, Ming-Hui Chang, Hwai-Shen Liu. Synthesis of Magnesium Hydroxide and Oxide Nanoparticles Using a Spinning Disk Reactor // Ind. Eng. Chem. Res. 2007. No. 46. Pp. 5536—5541.
8. Compressive strength of fly ash magnesium oxychloride cement containing granite wastes / L. Ying, Y. Hongfa, Z. Lina, W. Jing, W. Chengyou, T. Yong-shan // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 38. Pp. 1—7.
9. Yunsong J. A new type of light magnesium cement foamed material // Materials Letters. 2002. Vol. 56. Pp. 353—356.
10. Zeyneb C., Sema (Akyil) E., Sabriye (Doyurum) Y. Magnesium Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Uranium Sorption Properties // Environmental Progress & Sustainable Energy. 2012. Vol. 31. Iss. 4. Pp. 536—543.
11. Киянец А. В., Дьяков К. В., Головнев С. Г. Магнезиальные бетоны и растворы в строительстве // Академ. вестн. УралНИИПРОЕКТ РААСН. 2009. Вып. 1. С. 74—75.
12. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. М. : Стройиздат, 1979. 476 с.
13. Акчурун Т. К., Ананьина С. А., Никитин И. Н. Перспективы освоения и технологии переработки бишофита волгоградских месторождений : моногр. Волгоград : ВолгГАСА, 1995. 116 с.
14. Jakowlew G. I. Gepresste Holzmagnesiaerzeugnisse als abfallprodukte der Holzbearbeitung // Bauzeitung. 1999. No. 9. S. 38—40.
15. Зырянова В. Н., Лыткина Е. В., Бердов Г. И. Повышение механической прочности и водостойкости магнезиальных вяжущих веществ при введении минеральных наполнителей // Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во. 2010. № 3(615). С. 21—26.

16. Акчури Т. К., Савченко А. В., Дробин И. Ю. Совершенствование процесса обжига гидроксида магния с целью получения магнезильного вяжущего // Аспирант. 2021. № 3(60). С. 34—37.

17. Бердов Г. И., Машкин Н. А. Перспективные направления совершенствования составов и технологии строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ // Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во. 2015. № 4(676). С. 45—57.

18. Ахмедов А. Д., Рыжов Н. М., Дубровина Ю. Ю. Влияние процентного соотношения компонентов магнезильного вяжущего на реологические свойства // Научные исследования XXI века. 2020. № 5(7). С. 13—16.

19. Зырянова В. Н., Лыткина Е. В., Бердов Г. И., Верещагин В. И. Влияние минеральных наполнителей на свойства магнезильных вяжущих // Техника и технология силикатов. 2010. Т. 17. № 2. С. 1—7.

20. Рахимов Р. З., Халиуллин М. И., Гайфуллин А. Р. Композиционное гипсовое вяжущее с добавками извести и керамзитовой пыли // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2013. № 31-2(50). С. 149—155.

© Акчури Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П., Стефаненко И. В., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Акчури Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П., Стефаненко И. В. Исследование влияния различных добавок на прочностные свойства строительных материалов на основе магнезильных вяжущих // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 106—113.

Об авторах:

Акчури Талгат Кадимович — советник РААСН, 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

Савченко Алексей Владимирович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; savtchenko2@mail.ru

Губаревич Галина Павловна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. математических и естественно-научных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ggubarevich@mail.ru

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

Talga K. Akchurin, Aleksei V. Savchenko, Galina P. Gubarevich, Igor' V. Stefanenko

Volgograd State Technical University

STUDYING THE EFFECT OF DIFFERENT ADDITIVES ON STRENGTH PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS BASED ON MAGNESIUM BINDERS

A brief description of magnesia binders is given. The influence of various additives (liquid glass — sodium silicate, polyvinyl acetate — PVA, aluminum hydroxide) on the strength properties of specimens-beams based on magnesia binders: compressive strength and tensile strength in bending has been studied. According to the softening coefficient, an assessment of the effect of additives on water resistance is given.

Key words: magnesia binder, compressive strength, flexural tensile strength, aluminum hydroxide, water glass, PVA, softening factor.

For citation:

Akchurin T. K., Savchenko A. V., Gubarevich G. P., Stefanenko I. V. [Studying the effect of different additives on strength properties of building materials based on magnesium binders]. *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. 4, pp. 106—113.

About authors:

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

Aleksei V. Savchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; savtchenko2@mail.ru

Galina P. Gubarevich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ggubarevich@mail.ru

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

УДК 666.972

О. В. Тараканов^а, Т. К. Акчурин^б, И. В. Ерофеева^а, Е. А. Белякова^а

^а Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

^б Волгоградский государственный технический университет

^а Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Проанализированы основные аспекты применения комплексных противоморозных добавок в бетонах. Выполнена серия экспериментов по оценке минеральных добавок на кинетику твердения бетона на морозе. Показана целесообразность использования моно- и бинарных микронаполнителей совместно с супер- и гиперпластификаторами в цементно-минеральных суспензиях с целью повышения эффективности действия супер- и гиперпластификаторов. Разработаны рекомендации по проектированию комплексных противоморозных добавок для «холодных» бетонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: комплексные противоморозные добавки, «холодные» и «теплые» бетоны, минеральные добавки, температура замерзания, супер- и гиперпластификаторы, ускорение и замедление твердения, кристаллизационная структура, твердение, прочность, бинарные минеральные смеси, цементно-минеральные суспензии, пластичность смесей.

В настоящее время в России значительно возрастают объемы монолитного бетона, используемого в гражданском и промышленном строительстве. Сдерживающим фактором в этом процессе являются зимние климатические условия, характерные для большинства территорий страны, чем обусловлено увеличение количества противоморозных добавок, используемых в технологии «холодного» бетона.

Известно, что в большинстве случаев добавки, используемые в зимнем бетонировании, являются комплексными. Перспективность применения комплексных добавок обусловлена следующими причинами. Комплексные добавки, как правило, обладают полифункциональностью механизмов действия и способны влиять сразу на несколько характеристик, например сокращать количество воды затворения за счет пластифицирующих компонентов и понижать температуру замерзания жидкой фазы бетона за счет противоморозных ингредиентов. Вторая причина — это возможность достижения синергетических эффектов, т. е. усиление какого-либо влияния одной добавки, предельно достигаемого за счет ее применения индивидуально в присутствии другого компонента при использовании их совместно. Третья причина связана с тем, что при использовании комплексных добавок создается возможность уменьшения или устранения негативного побочного действия какого-либо компонента. Например, практически все пластифицирующие добавки замедляют процессы гидратации и твердения цементных материалов, поэтому при их использовании, особенно при зимнем бетонировании, целесообразно в состав комплексных добавок вводить компоненты, ускоряющие твердение и повышающие прочность. Четвертым достоинством комплексных добавок является возможность достижения универсальности их

действия, под которым понимается, например, снижение влияния химико-минералогического состава цемента на кинетику твердения и прочность бетона.

В соответствии с ГОСТ 24211—2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов», противоморозные добавки подразделяются на две группы: для «холодного» бетона и для «теплого» бетона. Очевидно, что в зимних условиях России, особенно в северных регионах, более востребованными являются противоморозные добавки для «холодного» бетона. Кроме того, следует отметить, что, в соответствии с ГОСТ 30459—2008 «Добавки бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности», испытание образцов основного бетона на сжатие проводится после выдерживания их в течение 4 ч при заданной отрицательной температуре, а затем в течение 28 сут в нормальных условиях. В реальных условиях в большинстве случаев используется совершенно другая схема твердения: бетон после изготовления транспортируется на объект (время неопределенное) в условиях отрицательных температур, а затем укладывается в конструкцию в условиях реальных отрицательных температур и подвергается тепловой обработке различными методами. Вполне естественно, что в условиях строительной площадки схема твердения бетона принципиально отличается от схемы твердения по ГОСТ 30459—2008 и реальную эффективность действия добавки достоверно оценить достаточно сложно.

Таким образом, наиболее эффективными и, очевидно, более востребованными противоморозными добавками будут являться комплексные модификаторы для «холодного» бетона.

В работе выполнен анализ возможных путей повышения эффективности комплексных противоморозных добавок применительно к «холодным» бетонам.

Современные бетоны, и особенно бетоны нового поколения, представляют собой многокомпонентные смеси, неотъемлемой частью которых являются химические добавки, в большинстве своем являющиеся комплексными. В настоящее время разработана и применяется широкая номенклатура противоморозных добавок, однако механизмы их действия, особенно при твердении на морозе, а следовательно, и оценка эффективности требуют дополнительных исследований. Много вопросов остаются малоизученными, например при оценке характера влияния химических добавок в бетоне, подвергаемом раннему замораживанию. Известно, например, что после раннего замораживания бетона при последующем его твердении в условиях положительных температур не происходит существенного изменения фазового состава продуктов гидратации, поэтому снижение прочности бетона связано с физическим изменением его микроструктуры [1]. Воздействие отрицательных температур приводит к замедлению процессов гидратации и твердения, однако, по мнению автора [1], приводит к повышению растворимости извести. Нарушение структуры бетона и деформации зависят от значения отрицательной температуры, и чем она ниже, тем в большей степени нарушается структура. Однако большое значение имеет не только показатель температуры, но и скорость замораживания. При быстром замораживании вода не успевает мигрировать к охлаждаемой стороне, поэтому на поверхности бетона не происходит образование крупных ледяных включений и разрушений. Наименьшие повреждения структуры бетона и, соответственно, ухудшения физико-механических свойств характерны для бетонов, достигших критической прочности до замораживания.

При раннем замораживании ранняя коагуляционная структура бетона не способна воспринимать напряжения, связанные с льдообразованием, вследствие чего структура бетона будет иметь значительные начальные повреждения. Однако при быстром замораживании свежешелюженного бетона после его оттаивания и последующего нормального твердения повреждения могут быть незначительными, а в отдельных случаях, особенно для цементно-песчаных растворов и бетонов, может отмечаться и повышение прочности. С другой стороны, более опасным является замораживание бетона, в теле которого начала формироваться ранняя кристаллизационная структура. В этом случае следует более внимательно оценивать характер влияния химических добавок на формирование начальной структуры бетона. Например, добавки — ускорители твердения, которые могут одновременно являться и противоморозными для «холодного» бетона, могут оказать негативное влияние, поскольку могут способствовать ускорению формирования кристаллизационной структуры, а нарушение ее на ранней стадии может негативно отразиться на свойствах бетона в последующем [2]. Весьма важной является оценка влияния противоморозных добавок на время формирования начальной структуры бетона и достижение критической прочности. Сокращая этот период при оптимально подобранных дозировках, создается возможность регулирования кинетики структурообразования, не допуская замораживания бетона в период формирования ранней кристаллизационной структуры.

Таким образом, при проектировании составов бетона, твердеющего на морозе, необходимо иметь четкое представление о механизмах действия каждого компонента комплексных добавок во избежание их негативного влияния. Кроме того, на характер и скорость деструктивных процессов большое влияние оказывают химико-минералогический состав цемента, пластичность смесей и многие другие факторы. Например, в наших исследованиях [2] установлено, что раннее замораживание в большинстве случаев оказывает отрицательное влияние на прочность цементных композиций с соотношением цемента к песку в пределах 1 : 2 и к повышению прочности составов с Ц : П в пределах 1 : 4. Характер влияния раннего замораживания на прочность цементно-песчаных растворов и бетонов зависит также от химико-минералогического состава цемента.

Одним из способов повышения эффективности противоморозных смесей является применение водопонижающих добавок. На рынке комплексных модификаторов для растворов и бетонов в настоящее время присутствует огромное количество противоморозных смесей, в составе которых наряду с активаторами твердения и антифризами в большинстве случаев присутствуют пластифицирующие добавки, в отношении которых также существуют различные представления о механизме их действия и характере влияния на микроструктуру и продукты гидратации цементных систем. Известно одно: практически все они замедляют кинетику гидратации и угнетают образование основных носителей прочности цементных систем гидросиликатов кальция, поэтому при использовании водопонижающих добавок важным вопросом является правильное назначение их дозировок. Известно, например, что многие органические модификаторы при повышенных дозировках замедляют гидратацию, а при весьма небольших ускоряют ее [3, 4]. В некоторых исследованиях [5] отмечается, что замедляющий эффект связан с наличием в

структуре вещества нескольких атомов кислорода, способных к сильному поляризованному эффекту. Эти атомы кислорода могут находиться в составе гидроксильной карбонильной или альдегидной группы. Авторы [6, 7] считают, что адсорбция на продуктах гидратации является главной причиной замедления, адсорбция на исходных фазах также возможна, и для чистых С3А или С3S она вызывает первоначальное ускорение, способствуя их растворению. Тейлор [8] отмечает, что замедлители более эффективны для цементов с низким содержанием алюминатов, так как они или продукты их гидратации поглощают непропорционально большое количество замедлителя. В наших ранних исследованиях [3] отмечается, что органические добавки (на примере углеводов) при малых дозировках (0,05...0,15 % от массы цемента) ускоряют гидратацию силикатных фаз цемента, а при повышенных (0,2... 0,5 %) — замедляют. Для алюминатных фаз цемента эти добавки являются эффективными ускорителями твердения, а также стабилизируют во времени процессы перекристаллизации метастабильных гидроалюминатов кальция в наиболее термодинамически стабильные фазы.

В последние десятилетия в технологии бетонов находят широкое применение суперпластифицирующие добавки на основе поликарбоксилатов, в отношении которых характерной является зависимость замедляющего эффекта от длины основных и боковых цепей. Однако многие из них, несмотря на различную длину цепей, замедляют процессы гидратации и начального структурообразования [9, 10].

Таким образом, эффективность органических пластифицирующих добавок во многом зависит от структуры, количества и активности функциональных групп, а также от конформационного (пространственного) строения молекул модификаторов, в связи с чем и характер пластифицирующего и замедляющего их влияния на цементные системы будет различным.

В современных условиях появление множества химических добавок является положительным фактором, так как появляется возможность выбора модификаторов исходя из конкретных условий производства. Однако проблема осложняется тем, что многие производители добавок зачастую не указывают их точный состав и соотношение компонентов. Кроме того, для сложных комплексов сложными являются и механизмы их действия на процессы гидратации, формирование микроструктуры и твердение цементных растворов и бетонов.

В отношении противоморозных добавок для «холодных» бетонов, как уже сообщалось выше, формирование начальной структуры в условиях отрицательных температур является чрезвычайно важным фактором. Учитывая возможность резких перепадов отрицательных температур на строительной площадке и возможность технологических нарушений, наиболее надежным способом зимнего бетонирования, особенно немассивных конструкций, для которых метод «термоса» не столь эффективен, является применение противоморозных компонентов, понижающих температуру замерзания жидкой фазы бетона. В этом случае дозировки добавок возрастают и увеличиваются с понижением отрицательных температур. Например, при температурах в пределах $-15...-25$ °C количество добавок может составлять до 7...10 % от массы цемента.

Известно, что хлористые соли кальция и натрия являются эффективными антифризами, однако применение их нецелесообразно в армированных конструкциях вследствие опасности коррозии стальной арматуры. С этой точки зрения возможным вариантом является использование нитритов и нитратов, а также ацетатов и формиатов натрия и кальция.

Следует отметить, что многие производители добавок в большинстве случаев в комплексных смесях указывают пластифицирующий компонент, а в отношении противоморозного ингредиента указываются весьма ограниченные сведения. Так, например, в составе добавки Суперпласт АКМ-20 Стандарт указана композиция натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы в сочетании с противоморозным компонентом на основе органических солей. Применение добавки ограничено температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при дозировке 3...4 % от массы цемента. Добавка АКМ-30 Ультра (Суперпласт) также состоит из композиции натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы в сочетании с органическими соединениями. Применение добавки возможно при температуре до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, и максимальная дозировка составляет 1,8 %. В состав добавки фирмы «Полипласт» Криопласт П25-1 входят смесь натриевых солей, лигниновой и метиленбиссульфокислоты и противоморозный компонент на основе смеси органических и неорганических солей натрия и калия. Добавку возможно применять при температуре до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ при дозировках до 5...6 % от массы цемента. В состав добавки Криопласт СП15-1 входят полиметиленафталинсульфонат натрия и противоморозный компонент формиат натрия. Добавку возможно применять при температуре до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при дозировках до 5...7 % от массы цемента. В состав добавки Криопласт СП15-2 входят полиметиленафталинсульфонат натрия и в качестве противоморозного компонента смесь тиосульфата и роданида натрия. Добавку можно применять при температуре до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при дозировках до 5...7 % от массы цемента.

Отметим, что в рекомендациях по применению комплексных противоморозных добавок многих производителей указываются дозировки в пределах 4...6 % от массы цемента, которые якобы обеспечивают твердение бетона при температурах $-20\text{...}-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Очевидно, с этим нельзя согласиться, поскольку подобные дозировки не обеспечивают ожидаемого эффекта при низких температурах. Кроме того, при использовании неорганических противоморозных компонентов в смеси с пластифицирующими добавками повышенные дозировки пластификаторов могут способствовать замедлению кинетики набора прочности. Стараясь не допустить передозировок органических добавок в составе комплексных противоморозных смесей, производители модификаторов, очевидно, снижают дозировки, однако следует помнить, что снижение количества противоморозного компонента приводит и к повышению температуры замерзания жидкой фазы бетона. Из этого следует, что при дозировках комплексных смесей в пределах 4...6 % от массы бетона добавки не способны обеспечить твердение на морозе.

В табл. 1 приведены температуры замерзания водных растворов некоторых неорганических солей, которые свидетельствуют о том, что наиболее эффективными и криоскопическими свойствами будут обладать хлористые соли, в отличие от азотнокислых солей.

Таблица 1

Температура замерзания водных растворов некоторых неорганических солей

Концентрация раствора C , %	CaCl ₂		MgCl ₂		NaCl		KCl		Ca(NO ₃) ₂		NaNO ₂	
	Температура замерзания T , °C	C	T	C	C	T	C	T	C	T	C	T
4	-2,0	4,9	-3,1	5	-3,1	5	-2,4	4	-1,1	4	-1,8	
6	-3,1	9,4	-7,2	10	-6,7	10	-4,9	6	-1,7	6	-2,8	
10	-5,7	10,5	-8,7	15	-11,0	15	-7,6	10	-3	10	-4,7	
14	-9,5	14,9	-17,1	20	-16,5	20	-10,6	14	-4,6	15	-7,5	
16	-11,7	20,1	-32,2	23,3	-21,2	23,3		16	-5,5	20	-10,8	
20	-17,6	20,6	-33,6					20	-7,6	25	-15,7	
25	-29							25	-10,8	30	-14,5	
31	-55							35	-18,5	28	-19,6	

В работе [2] выполнен расчет ожидаемой температуры замерзания водных растворов некоторых противоморозных добавок (табл. 2).

Таблица 2

Ожидаемое понижение температуры замерзания водных растворов добавок

Добавка	Молекулярная масса	Количество добавки, % от массы цемента			
		3	5	7	10
NaCl	58,44	-3,816	-6,365	-8,909	-12,729
KCl	74,56	-2,991	-4,988	-6,982	-9,977
CaCl ₂	110,99	-2,511	-4,189	-5,863	-8,379
MgCl ₂	95,22	-2,929	-4,882	-6,835	-9,765
NaNO ₂	69	-3,232	-5,390	-7,547	-10,780
Ca(NO ₃) ₂	164,09	-1,697	-2,832	-3,966	-5,668
K ₂ CO ₃	138	-2,018	-3,366	-4,715	-6,737
NaBr	102,9	-2,168	-3,612	-5,055	-7,224
Na ₂ SO ₄	142	-2,354	-3,928	-5,502	-7,856
CH ₃ COONa (ацетат Na)	82	-2,719	-4,534	-6,350	-9,073
HCOONa (формиат Na)	68	-3,281	-5,468	-7,659	-10,940

С учетом того, что температура замерзания водных растворов солей пропорциональна молярной концентрации, очевидно, что даже при повышенных дозировках добавок (до 10 % от массы цемента) невозможно создать незамерзающую жидкую фазу бетона при температурах до -30°C . Из бесхлоридных добавок наиболее перспективными будут являться смеси с использованием нитрита, ацетата и формиата натрия.

В качестве одной из добавок для повышения морозостойкости и коррозионной стойкости бетона может быть использована комплексная добавка — электролит, содержащая в своем составе хлористый кальций, нитрат кальция и природный бишофит (шестиводный хлористый магний) волгоградских местонахождений. Большое содержание хлористых солей в бетоне и железобетоне вызывает, с одной стороны, ускорение твердения цемента и бетона, особенно при отрицательных температурах (до -15°C), с другой стороны — активизируется процесс разрушения структуры цементного камня, бетона и арматурной стали. Для компенсации разрушающего действия хлористых солей вводилась добавка — ингибитор нитрат кальция.

Лабораторные исследования образцов из раствора и бетона проводились по стандартным методикам на морозостойкость и коррозионную стойкость. Испытанию подвергались бетоны марок 200, 300, 400, приготовленные на себряковском и вольском портландцементе марки 500. При определении морозостойкости определялась потеря прочности бетона при сжатии в процентах после 150 и 200 циклов. Образцы бетона с комплексной добавкой выдержали все испытания на морозостойкость; у них потеря прочности составила 9,2 % и 1,6 % соответственно. На вольском цементе у контрольных образцов прочности снизилась на 1,9...13,5 %. При исследовании коррозионной стойкости бетонов с добавкой установлено, что коэффициент стойкости бетона в шестимесячном возрасте составил 0,92...0,97. Скорость коррозии

арматуры в бетоне фиксировалась на уровне $0,0020...0,0025 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$. Это свидетельствует об устойчивом пассивном состоянии арматуры в бетоне [11].

Касаясь применения комплексных противоморозных добавок в технологии «холодного» бетона, следует отметить, что пластифицирующие добавки, вводимые в количестве $0,5...1,0 \%$ от массы цемента, используются с целью водоредуцирования и вследствие химического строения и высокой молекулярной массы не снижают температуры замерзания жидкой фазы бетона. Противоморозные компоненты вводятся в большем количестве (до 10% от массы цемента), в зависимости от значения отрицательной температуры. С этой точки зрения пластифицирующий и противоморозный компоненты следует вводить отдельно с целью исключения возможности замедления гидратации при повышенных дозировках пластификатора и обеспечения необходимых условий твердения бетона на морозе за счет повышенного количества противоморозного компонента.

Так, разработана технология переработки побочных продуктов — производных органических алифатических карбоновых кислот производства полиуретанов в товарный продукт — карбоксилат натрия в виде порошка ($57...59 \%$ сухого вещества кристаллогидрата соли органической кислоты) либо в виде $20...30\%$ -го водного раствора. Карбоксилат натрия — малоопасное вещество (4-й класс опасности), безопасное в обращении, коррозионно неактивно, экологически безопасно, так как легко усваивается микроорганизмами почвы и воды.

Карбоксилат натрия испытан в лаборатории кафедры строительных материалов ИАиС ВолгГТУ в качестве пластифицирующей и противоморозной добавки в бетонные смеси и строительные растворы. Получены положительные результаты. Установлено, что введение карбоксилата натрия в количестве $(1 \pm 0,5) \%$ к массе цемента в расчете на безводный продукт позволяет получить равноподвижные смеси при сокращении воды затворения на $10...15 \%$, обеспечить наибольший прирост прочности бетонных образцов к контрольному сроку. Введение добавки в количестве $3...4 \%$ к массе цемента позволяет предотвратить замерзание бетонных смесей и растворов до температуры $-10...-12 \text{ }^\circ\text{C}$ от приготовления до тепловой обработки.

Опробование в производственных условиях показало, что введение добавки 1% позволит снять около 7% цемента, повысить прочность на $15...25 \%$. Растворы карбоксилата натрия имеют слабощелочную среду ($\text{pH } 8...10 \%$), коррозионно не активны к металлам, сплавам, полимерным материалам, добавка не вызывает опасения коррозии арматуры в железобетонных конструкциях [12—14].

С целью определения влияния некоторых противоморозных компонентов комплексных добавок на прочность тяжелого бетона была выполнена серия экспериментов по оценке кинетики твердения в течение 90 сут при температуре $-15 \text{ }^\circ\text{C}$. Исследования проводились с использованием портландцемента ЦЕМ 32,5Н в бетоне с соотношением цемент : песок : щебень : вода, равным $1,0 : 2,5 : 3,9 : 0,6$. В качестве добавок использовали хлориды кальция и натрия, нитрит натрия, а также ацетаты натрия и кальция, формиат натрия. Результаты исследований, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что практически все добавки обеспечивают достижение бетоном ожидаемой прочности в возрасте 28 сут при твердении в условиях отрицательных

температур. Тем не менее лучшие результаты достигнуты при использовании добавки хлорида кальция и формиата кальция. В целом все добавки обеспечивают достижение бетоном 30 % прочности бетона нормального твердения, что соответствует требованиям ГОСТ 24211-2008.

Таблица 3

Кинетика твердения тяжелого бетона с противоморозными добавками при отрицательных температурах

Портландцемент ЦЕМ I 32,5Н. Расход цемента 290 кг/м ³	Количество добавки, % от массы цемента	Температура твердения, °С	Прочность бетона, МПа, в % от R^{28} нормального твердения			
			7 сут	14 сут	28 сут	90 сут
Без добавки. $R^{28} = 23,0$ МПа	—	18	69	80	100	115
С добавкой NaNO_2 (нитрит натрия)	8	-15	10	23	32	56
С добавкой CaCl_2 (хлорид кальция)	8	-15	18	29	38	61
С добавкой NaCl (хлорид натрия)	8	-15	16	32	40	59
С добавкой $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (ацетат кальция)	8	-15	10	20	32	43
С добавкой CH_3COONa (ацетат натрия)	8	-15	9	18	27	39
С добавкой $\text{Ca}(\text{HCOO})_2$ (формиат кальция)	8	-15	14	22	35	43

Одним из важнейших способов повышения эффективности применения противоморозных добавок является снижение водопотребности растворимых и бетонных смесей. Это может быть достигнуто следующими технологическими приемами. Первым из них является использование эффективных пластифицирующих добавок — суперпластификаторов и гиперпластификаторов (СП и ГП), которые позволяют снижать водосодержание смесей до 25...30 % и, соответственно, достигать значительного повышения прочности бетона. Вторым приемом является использование тонкомолотых горных пород (каменной муки) с показателем удельной поверхности, близкой к цементам. Основной задачей при использовании каменной муки является повышение эффективности действия СП и ГП. Большинство тонкомолотых плотных и прочных горных пород являются более реологически активными по сравнению с цементами, т. е. подвержены большему пластифицирующему эффекту вследствие их инертности к воде. В работах В. И. Калашникова¹ [15—18] и в наших ранних исследованиях [19] показано, что в присутствии многих СП и ГП минеральные порошки, полученные, например, помолом гранита, диабазы, базальта и других плотных пород, в большей степени разжижаются в присутствии СП и ГП. Смеси цемента и минеральных порошков также являются

¹ Калашников В. И. Основы пластифицирования минеральных дисперсных систем для производства строительных материалов : дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 1996.

более реологически активными, что позволяет достичь большего снижения водосодержания смесей по сравнению с чисто цементными составами. Этот прием является весьма важным для повышения эффективности противоморозных добавок.

Кроме того, при рационально подобранных дозировках и гранулометрии порошков создается возможность уплотнения структуры и сближения частиц цемента и минерального наполнителя, за счет чего обеспечивается возможность эпитаксиального наращивания продуктов гидратации на гранях частиц микронаполнителя. Подобными свойствами обладают кристаллические структуры горных пород, имеющих параметры кристаллических решеток, близких к параметрам таковых для продуктов гидратации цемента. К подобным минералам относится, например, кальцит [20]. В присутствии тонкодисперсного кальцита происходит ускорение гидратации силикатных фаз цемента и, кроме того, первичные продукты гидратации $C-S-H$ появляются на поверхности частиц кальцита и на поверхности C_3S , вследствие чего поверхность C_3S становится более доступной для дальнейшей гидратации. Диаметр волокон (игл) $C-S-H$ может составлять до 7...10 нм, что позволяет формировать прочный контактный слой на границе раздела фаз, в отличие, например, от более крупных гексагональных пластинок AFm -фаз и еще более крупных пластинок $Ca(OH)_2$. В этом случае происходит уплотнение структуры и создается возможность повышения прочности не только за счет большего снижения водосодержания, но и за счет формирования кристаллизационных контактов между частицами цемента и микронаполнителя. При анализе процессов гидратообразования в цементно-минеральных системах следует учитывать значительные различия свойств поверхностных слоев частиц цемента и наполнителя по сравнению с внутренним материалом зерна. Например, одним из приемов повышения эффективности цементно-минеральных систем является механическая активация (домол) смесей, что способствует не только увеличению удельной поверхности, но и изменению ее энергетического состояния. Например, домол цементно-зольных смесей позволяет значительно повысить гидратационную активность золы вследствие обнажения активных центров на поверхности частиц. Перспективным направлением в технологии наполненных цементно-минеральных систем является возможность использования в качестве микронаполнителей тонкомолотых песков [21].

Таким образом, применение тонкомолотых микронаполнителей в технологии бетонов позволяет получать не только бетонные смеси с низким водосодержанием, но и бетоны с более плотной структурой, обладающие, соответственно, лучшими физико-механическими свойствами.

В последнее время значительный научный и практический интерес представляет использование бинарных минеральных микронаполнителей в бетонах нового поколения [22]. Преимущество бинарных систем заключается в том, что они в определенной степени позволяют снизить некоторые негативные явления при использовании индивидуальных микронаполнителей (различия зарядового состояния поверхности, кристаллического строения частиц и т. д.).

При использовании бинарных микронаполнителей создается возможность не только нивелировать влияние некоторых компонентов, но и заменять дорогостоящие на менее дорогие и более доступные.

С целью выявления возможности замены в порошково-активированных суспензионных бетонах дорогостоящего пылевидного кварца отходами от дробления горных пород была изготовлена серия составов. В качестве тонкодисперсных минеральных компонентов (каменная мука) в суспензиях были использованы широко распространенные тонкомолотые горные породы ($S_{уд} = 320...500 \text{ м}^2/\text{кг}$), такие как гранит, доломит, высококальциевый известняк, диабаз, а также полученные помолом каменных пород Пензенской области — песчаника и доломитизированного известняка. Составы и свойства полученных бетонов приведены в табл. 4. Количество воды при приготовлении смесей подбиралось таким образом, чтобы получить расплыв конуса Хегерманна в пределах 30...34 см.

В качестве контрольной была изготовлена смесь с использованием пылевидного кварца, липецкого микрокремнезема, белого цемента СЕМ 52,5R (Дания) и ГП Melflux 5581F (см. табл. 4, состав 4). Расплыв конуса Хегерманна у контрольной суспензии составил 30 см при $V / T = 0,123$; объемное содержание водно-дисперсной фазы $C_{вд}^v = 62 \%$; плотность бетонной смеси 230 кг/м^3 .

Высокопрочный известняк имел, в отличие от доломита и кальцита, более высокую открытую пористость: 1,5...2,0 % (доломит — 0,5...1,0 %, кальцит — 0,7...0,8 %). Однако суспензия, приготовленная на основе доломитизированного известняка, обладала расплывом конуса Хегерманна 30 см при $V / T = 0,116$ (состав 1). Для суспензии с кальцитом расплыв конуса Хегерманна составил 32 см при $V / T = 0,123$ (состав 5).

Наилучшей реологической активностью обладал доломит. Так, при $V / T = 0,117$ (состав 2) расплыв конуса Хегерманна 34 см, и при $V / T = 0,099$ расплыв конуса Хегерманна 29 см (состав 3).

Как видно из табл. 4 (состав 6), реотехнологические показатели суспензии, изготовленной с использованием кварцевого песчаника (г. Пенза), оказались аналогичными контрольному составу. Это объясняется тем, что песчаники по происхождению состоят из цементированных зерен песка и в тонкомолотом состоянии они имеют отрицательно заряженную поверхность, но в присутствии цемента возможна частичная перезарядка поверхности частиц, что позволяет повышать адсорбцию функциональных групп СП на частицах песчаника и, соответственно, повышать эффективность действия СП и ГП.

Реакционно-порошковые смеси, полученные с использованием магматических горных пород (см. табл. 4, состав 7 и состав 8) — диабаз и гранита — имели расплывы конуса Хегерманна 32 и 31 см соответственно при $V / T = 0,115$ и $0,123$. Незначительное увеличение реотехнологических показателей обусловлено неоднородной структурой данных пород, на частицах которой локализованы как положительно, так и отрицательно заряженные участки. Ранее выполненные исследования² показали, что водные суспензии гранитной муки в присутствии ГП разжижаются лучше, чем цементные.

² *Белякова Е. А.* порошковые и порошково-активированные бетоны с использованием горных пород и зол ТЭЦ : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Пенза, 2013.

Таблица 4

Реотехнологические показатели реакционно-порошковых суспензионных бетонных смесей
и прочностные показатели бетонов нового поколения

Обозначение состава	Компоненты бетонной смеси, расход на 1 м ³ , кг	Распływ конуса Хетерманна, см	$\rho_{\text{вып}}$, кг/м ³	$R^{28}_{\text{сж}}$, МПа	$\sigma_{\text{сж}}^{\text{уд}}$, кг/МПа
Состав 1	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 655. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 983. Известняк (Пенза), $S_{\text{уд}} = 280 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 328. В / Т = 0,116	30	230	110,5	5,93
Состав 2	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 670. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 1005. Доломит (Воронеж), $S_{\text{уд}} = 445 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 335. В / Т = 0,117	34	234	105,4	6,36
Состав 3	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 683. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 1025. Доломит (Воронеж), $S_{\text{уд}} = 445 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 342. В / Т = 0,099	29	233	113,1	6,04
Состав 4	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 664. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 996. Микрокварц, $S_{\text{уд}} = 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 332. В / Т = 0,123	30	230	113,9	5,83

Окончание табл. 4

Обозначение состава	Компоненты бетонной смеси, расход на 1 м ³ , кг	Расшлыв конуса Хетерманна, см	$\rho_{\text{вп}}$, кг/м ³	$R_{\text{сж}}^{28}$, МПа	$\rho_{\text{сж}}^{28}$, кг/МПа
Состав 5	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 669. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 1004. Известняк (Тольятти), $S_{\text{уд}} = 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 335 В / Т = 0,123	32	232	115,6	5,79
Состав 6	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 657. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 986. Песчаник (Пенза), $S_{\text{уд}} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 329. В / Т = 0,123	30	223	103,7	6,34
Состав 7	Цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания) — 660. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 990. Диабаз, $S_{\text{уд}} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 330. В / Т = 0,123	31	230	107,1	6,16
Состав 8	Цемент белый ЦЕМ I 42,5 ОАО «Щуровский цемент» — 690. Микрокремнезем марки МК-85 — 10 % Ц. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 1035. Гранит, $S_{\text{уд}} = 420 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 345. В / Т = 0,115	32	230	108,8	6,33
Состав 9	Цемент белый ЦЕМ I 42,5 ОАО «Щуровский цемент» — 697. ГП Melflux 5581F — 0,8 % Ц. Тонкий песок фр. 0,16...0,63 мм — 1046. Известняк (Тольятти), $S_{\text{уд}} = 320 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 349. В / Т = 0,115	33	233	112,2	6,21

В целом исследования показали, что применение бинарных микронаполнителей в качестве реологически активной матрицы для бетонов совместно с ГП и микрокремнеземом позволяет достигать показателей прочности образцов в пределах 103...115 МПа. Замена тонкомолотого микрокварца на более дешевые микронаполнители, как правило, не приводит к снижению прочности.

Выполненный анализ и проведенные исследования позволили сформулировать основные рекомендации по повышению эффективности применения комплексных противоморозных добавок для «холодных» бетонов:

1. С целью обеспечения возможности твердения бетонов при отрицательных температурах необходимо применять противоморозные компоненты в дозировках, в зависимости от значения температуры, с учетом их влияния на кинетику формирования начальной кристаллизационной структуры бетона с целью исключения возможности негативного влияния добавок на нее при раннем замораживании.

2. Пластифицирующие добавки необходимо вводить отдельно с противоморозными, в дозировках, применяемых для бетонов нормального твердения (0,5...1,0 % от массы цемента), с учетом возможного замедляющего действия добавок на цементные системы при повышенных дозировках.

3. С целью повышения эффективности действия СП и ГП и снижения водопотребности растворных и бетонных смесей следует использовать реологически активные матрицы, состоящие из смеси цемента и моно- или бинарных микронаполнителей (каменной муки). Бинарные микронаполнители являются более универсальными. Целесообразно в качестве микронаполнителей использовать тонкомолотые плотные и прочные горные породы, обладающие не только реологической, но и гидратационной активностью. В качестве минеральной добавки целесообразно использовать также тонкомолотый песок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мионов С. А.* Теория и методы зимнего бетонирования. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 700 с.
2. *Тараканов О. В.* Цементные материалы с ускоряющими и противоморозными добавками на основе вторичного сырья. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та архитектуры и стр-ва, 2003. 421 с.
3. *Тараканов О. В.* Цементные материалы с добавками углеводов. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та архитектуры и стр-ва, 2003. 166 с.
4. *Tarakanov O. V., Belyakova E. A., Yurova V. S.* Complex Organomineral Additives with Hardening Accelerator (Scopus) Materials Engineering and Technologies for Production and Processing IV // 4th International Conference on Industrial Engineering (4th ICIE 2018) Solid State Phenomena. Vol. 284. Switzerland, 2018. Pp. 929—935.
5. *Ramachandran V. S., Feldman R. F., Beaudoin J. J.* Concrete Science. Heyden. London, 1981. P. 427.
6. *Yamamoto V.* Retarders of Concrete and Their Effects on Setting Time and Shrinkage. Joint Highway Research Project C 36 47 L, 1972. P. 181.
7. *Young J. F.* A Review of the Mechanism of Set Retardation in Portland Cement Pastes Containing Organic Admixtures // Cement and Concrete Research. 1972. No. 2. Pp. 415—433.
8. *Тейлор Х. Ф.* Химия цементов. М.: Стройиздат, 1969. 250 с.
9. The Influence of Plasticizers on the Composition of Cement Stone Hydration Products (Web of science) / O. V. Tarakanov, E. A. Belyakova, V. I. Kalashnikov, O. V. Grintsova, N. I. Makridin // Advances Engineering Research. International Symposium on Mechanical Engineering and Material Science (ASMEMS, 2016). Vol. 93. South Korea, 2016. Pp. 186—191.

10. Tarakanov O. V., Belyakova E. A., Yurova V. S. On the issue of expanding the base of mineral and complex additives for cement (Scopus) // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 135. P. 6.
11. Акчури́н Т. К., Агеев Ю. С., Перфи́лов В. А., Хромо́в А. В. Исследование физико-механических свойств бетона с комплексной добавкой при действии отрицательных температур и солевой коррозии : информ. л. № 51-172-00. Волгоград : ЦНТИ, 2000. 3 с.
12. Акчури́н Т. К., Потапова О. К., Стефаненко И. В. Использование сырьевых ресурсов Волгоградской области в технологии строительных материалов : моногр. Волгоград : Изд-во ВолГАСА, 1999 с.
13. Акчури́н Т. К., Медведько С. В., Хромо́в А. В. Исследование возможности использования карбоксилата натрия (КН) в качестве добавки в бетоны и растворы // Современные проблемы строительного материаловедения : Четвертые акад. чтения РААСН : материалы Международ. науч.-техн. конф. Пенза, 1998. Ч. II. С. 27—29.
14. Медведько С. В., Акчури́н Т. К., Осадченко И. М. Использование карбоксилата натрия в качестве пластифицирующей и противоморозной добавки в бетоны и растворные смеси : информ. л. № 369-97. Волгоград : ЦНТИ, 1999. 2 с.
15. Калашников В. И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 1. Виды реологических матриц в бетонной смеси и стратегия повышения прочности бетона и экономии его в конструкциях // Технологии бетонов. 2007. № 5. С. 8—10.
16. Калашников В. И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 2. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2007. № 6. С. 8—11.
17. Калашников В. И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч. 3. От высокопрочных и особо высокопрочных бетонов будущего к суперпластифицированным бетонам общего назначения настоящего // Технологии бетонов. 2008. № 1. С. 22—26.
18. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами / В. И. Калашников, М. Н. Мороз, О. В. Тараканов, Д. В. Калашников, О. В. Суздальцев // Строительные материалы. 2014. № 9. С. 70.
19. Тараканов О. В., Белякова Е. А. Формирование микроструктуры цементных материалов с минеральными и комплексными добавками // Региональная архитектура и строительство. 2017. Вып. 4(33). С. 60—66.
20. Тараканов О. В., Пронина Т. В. Гидратация и твердение цементных материалов с добавками минеральных шлаков. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та архитектуры и стр-ва, 2006. 152 с.
21. Kalashnikov V. I. Super- and hyper-plasticizers. Silica fumes. A new generation of concretes with low specific cement consumption per strength unit // ALITINFORM Concrete. 2011. No. 4(21). Pp. 52—60.
22. Тараканов О. В., Акчури́н Т. К., Белякова Е. А., Москвин Р. Н. Расширение базы комплексных органоминеральных добавок в технологии бетона // Вестн. ВолГАСУ. 2022. Вып. 3(88).

© Тараканов О. В., Акчури́н Т. К., Ерофеева И. В., Белякова Е. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Тараканов О. В., Акчури́н Т. К., Ерофеева И. В., Белякова Е. А. Повышение эффективности действия противоморозных добавок в технологии бетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 114—129.

Об авторах:

Тараканов Олег Вячеславович — д-р техн. наук, проф., Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; tarov60@mail.ru

Акчури́н Талгатъ Кадимович — советник РААСН, 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

Ерофеева Ирина Владимировна — канд. техн. наук, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева. Российская Федерация, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68; ira.erofeeva.90@mail.ru

Белякова Елена Александровна — канд. техн. наук, доц. каф. кадастра недвижимости и права, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; var_lena@mail.ru

Oleg V. Tarakanov^a, Talgat K. Akchurin^b, Irina V. Erofeeva^c, Elena A. Belyakova^a

^a *Penza State University of Architecture and Construction*

^b *Volgograd State Technical University*

^c *Ogarev Mordovia State University*

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF ANTIFREEZE ADDITIVES IN CONCRETE TECHNOLOGY

The main aspects of the use of complex antifreeze additives in concrete are analyzed. A series of experiments was performed to evaluate mineral additives for the kinetics of concrete hardening in the cold. The expediency of using mono- and binary micro-fillers together with super- and hyperplasticizers in cement-mineral suspensions in order to increase the effectiveness of super- and hyperplasticizers is shown. Recommendations on the design of complex antifreeze additives for “cold” concrete have been developed.

Key words: complex antifreeze additives, “cold” and “warm” concretes, mineral additives, freezing point, super- and hyperplasticizers, acceleration and deceleration of hardening, crystallization structure, hardening, strength, binary mineral mixtures, cement-mineral suspensions, plasticity of mixtures.

For citation:

Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Erofeeva I. V., Belyakova E. A. [Improving the effectiveness of antifreeze additives in concrete technology]. *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. 4, pp. 114—129.

About authors:

Oleg V. Tarakanov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University of Architecture and Construction. 28, Germana Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; tarov60@mail.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

Irina V. Erofeeva — Candidate of Engineering Sciences, Ogarev Mordovia State University. 68, Bolshevistskaya st., Saransk, 430005, Russian Federation; ira.erofeeva.90@mail.ru

Elena A. Belyakova — Candidate of Engineering Sciences, Penza State University of Architecture and Construction. 28, Germana Titova st., 440028, Penza, Russian Federation; var_lena@mail.ru

УДК 004.9+620.9

А. М. Сорокин

Волгоградский государственный технический университет

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, УПРАВЛЯЕМОСТИ И КАЧЕСТВА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ВОЛГОГРАДА

В настоящее время существует ряд недостатков в научно-методическом обосновании подходов к решению актуальных задач эксплуатации в условиях высокого уровня износа теплоэнергетического оборудования и трубопроводов, а также развития систем теплоснабжения. Необходимо внедрение методов математического моделирования в практику эксплуатации и развития систем теплоснабжения и тепловых сетей как ее элемента, создание системы для постоянного наблюдения за процессами производства, распределения и реализации (потребления) тепловой энергии и анализа функционирования системы теплоснабжения.

В данной статье рассматриваются механизмы, способствующие созданию информационно-аналитической поддержки принятия обоснованных управленческих решений¹ по обеспечению надежности и эффективности процессов теплоснабжения Волгограда. Предложена архитектура системы мониторинга систем централизованного теплоснабжения, которая может быть положена в основу организации на практике мониторинга систем теплоснабжения с целью создания единой базы данных о состоянии систем теплоснабжения.

Ключевые слова: принципы, системы, централизованное теплоснабжение, цифровизация, качество теплоснабжения, надежность, тепловые сети, тепловые потери, система теплоснабжения.

Введение

В настоящее время основной проблемой эксплуатации систем централизованного теплоснабжения является недопустимо высокий уровень износа теплоэнергетического оборудования и трубопроводов, что приводит к низкой надежности теплоснабжения. Поэтому сейчас актуальны исследования, направленные на создание систем защиты от повышенного давления и внедрение современных энергосберегающих технологий теплоснабжения. Значительная доля тепловых сетей, составляющая порядка 85 % по протяженности и 89 % по материальной характеристике, проложена до 1990 г. и имеет срок эксплуатации более 27 лет. Следствием длительного срока эксплуатации тепловых сетей является высокий износ трубопроводов — более 80 %, неудовлетворительное состояние теплоизоляции и высокие потери тепловой энергии.

¹ Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (вместе с «Правилами организации теплоснабжения в Российской Федерации»): постановление Правительства Рос. Федерации от 08.08.2012 г. № 808 (ред. от 22.05.2019 г.

Об утверждении Методики комплексного определения показателей технико-экономического состояния систем теплоснабжения (за исключением теплопотребляющих установок потребителей тепловой энергии, теплоносителя, а также источников тепловой энергии, функционирующих в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов теплоснабжения, и Порядка осуществления мониторинга таких показателей: приказ Министра Рос. Федерации от 21 авг. 2015 г. № 606/пр.

Как показывает практика последних нескольких лет, существуют серьезные риски, связанные с нестабильным обеспечением жителей и социальных объектов городских округов субъектов Российской Федерации теплоснабжением. Ресурсоснабжающие организации злоупотребляют своим доминирующим положением, используя отключения котельных в качестве инструмента давления на администрацию городских округов в части оплаты за тепловую энергию.

Однако организация эксплуатации источников централизованного теплоснабжения осуществляется с отсутствием полноценных данных функционирования систем теплоснабжения и показателей. Не организована единая база данных, отражающая текущее состояние объектов и системы теплоснабжения в целом.

Результаты

Разрегулированность системы теплоснабжения приводит к увеличению расхода теплоносителя и, как следствие, к увеличению тепловых потерь и расхода электроэнергии [1]. Подключение новых потребителей проводится за счет переключки участков тепловых сетей с увеличением диаметров, а не за счет улучшения режимов работы системы.

Отсутствие организации технического и коммерческого учетов по всей технологической цепочке производства, передачи, преобразования и потребления (реализации) энергоресурсов 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 обоснованное планирование развития производства;
- составлять энергетические балансы объектов теплоснабжения и системы теплоснабжения в целом.

При моделировании фактических тепловых и гидравлических режимов работы системы теплоснабжения в части сопоставления расчетных в исходной электронной модели и фактических параметров теплоносителя в контрольных точках (местах установки приборов учета потребителей) выявлены их значительные отличия. Результаты сопоставления приведены в табл. 1 и 2. В таблицах указаны «sys» — уникальные идентификационные номера элементов электронной модели в ПК «GISZulu»² [2].

² From Smart Grid to Neural Grid, Navigant Research, 2018.

Utility of the Future, MIT, 2016.

2017—2018 OFGEM Annual Report and Accounts.

Initial operation of the Hornsdale Power Reserve Battery Energy Storage System, AEMO, April 2018.

Electricity Storage Handbook, DOE/EPRI, 2015.

FERC Order 841. Electric Storage Participation in Markets Operated by Regional Transmission Organizations [RTOs] and Independent System Operators [ISOs], FERC, 2018.

FERC Order 745. Demand Response Compensation in Organized Wholesale Energy Markets, FERC, 2011.

Таблица 1
Сравнение фактических и расчетных параметров для гидравлических расчетов исходной электронной модели

Sys	Название	Расход теплоносителя фактический, м ³ /ч			Расход теплоносителя расчетный, м ³ /ч			Давление фактическое, м			Давление расчетное, м		
		G ₁	G ₂	ΔG	G ₁	G ₂	ΔG	P ₁	P ₂	ΔP	P ₁	P ₂	ΔP
<i>Источники</i>													
175	Котельная, кв. 729	159,1			149,5 (-6%)	148,7	0,8	71,4	48,7	22,7	71,4 (0%)	48,7 (0%)	22,7
<i>Потребители</i>													
33	В. И. Ленина просп., 149а	5,2			5,5 (+6,1%)						68,9	58,2	10,7
34	В. И. Ленина просп., 151	5,9			5,9 (-0,3%)			62	41,3	20,7	74,2 (+19,7%)	62,8 (+52%)	11,4
128	В. И. Ленина просп., 173, ЭУ «Старт»	4,3			0,7 (-83,9%)			89,9	67,2	22,7	78,2 (-13%)	63,9 (-4,9%)	14,4
130	В. И. Ленина просп., 173, ЭУ 1 пристр.	1,3			4 (+204,5%)			89,9	67,2	22,7	79,7 (-11,4%)	64,4 (-4,1%)	15,3
127	В. И. Ленина просп., 177	3,2			3,6 (+11,1%)						77,6	61,5	16,1
64	В. И. Ленина просп., 189	3,4			3,6 (+4,5%)						79,3	64,3	15
3	Загорская ул., 13	3,8			3,6 (-3,6%)						75,5	63,4	12,1
2	Загорская ул., 18	4			3,7 (-7%)						75,9	61,3	14,6
113	Загорская ул., 19	3,7			3,5 (-5,4%)						74,3	58,7	15,6
115	Загорская ул., 21	3,4			3,6 (+4%)						75,2	60,9	14,4
1	Салтыкова-Щедрина ул., 25	3,9			3,8 (-4,4%)						73,5	61,2	12,3
111	Таращанцев ул., 72	1,9			2,3 (+19,2%)			72,3	51,7	20,7	69,1 (-4,4%)	48 (-7,2%)	21,2
119	Тарифная ул., 3	5,1			4,1 (-19%)			72,3	51,7	20,7	75,4 (+4,3%)	59,6 (+15,4%)	15,8
121	Тарифная ул., 5	4,3			4,3 (-0,6%)			72,3	51,7	20,7	76 (+5%)	63,1 (+22,1%)	12,9
120	Тарифная ул., 7	5,8			4,5 (-22,7%)			72,3	51,7	20,7	76,3 (+5,5%)	59,7 (+15,6%)	16,6
118	Тарифная ул., 9	3,6			3,3 (-7,8%)			72,3	51,7	20,7	74,9 (+3,5%)	58,2 (+12,7%)	16,7
<i>Узлы (тепловые камеры)</i>													
95	т. 12				11,7			93	51,7	41,3	76,7 (-17,5%)	64,3 (+24,5%)	12,4
56	т. 36				9,4			64	53,4	10,6	81,7 (+27,6%)	67,1 (+25,6%)	14,6
103	У-Лен, 155				6,2			82,7	62	20,7	76,9 (-7%)	62,6 (+0,9%)	14,3
<i>Участки</i>													
27		10,5			12,8 (+21,4%)								
48		6,4			6,7 (+5,7%)								
156		10,6			11,7 (+11,1%)								
190		10,2			9,4 (-7,8%)								
254		7,9			6,2 (-22%)								

Таблица 2

Сравнение фактических и расчетных параметров для тепловых расчетов исходной электронной модели

Sys	Название	Температура фактическая, °С			Температура расчетная, °С			Δt
		t_1	t_2	Δt	t_1	t_2	Δt	
175	Котельная, кв. 729	Источники			46,7	75,2	45,7 (-2,1 %)	29,4
		Потребители						
33	В. И. Ленина просп., 149а	72,6	47,1	25,5	74 (+1,9 %)	46,3 (-1,7 %)	27,7	
34	В. И. Ленина просп., 151	71,3	47,5	23,8	72,9 (+2,2 %)	46,2 (-2,7 %)	26,7	
128	В. И. Ленина просп., 173, ЭУ «Стар»	73,3	41,8	31,5	69,1 (-5,7 %)	44,1 (+5,5 %)	2,5	
130	В. И. Ленина просп., 173, ЭУ, 1 пристр.	73,6	45,2	28,4	72,9 (-1 %)	46,5 (+2,9 %)	26,4	
127	В. И. Ленина просп., 177	74,1	45,1	29	73,8 (-0,4 %)	46,6 (+3,3 %)	27,2	
64	В. И. Ленина просп., 189	71,7	44,9	26,9	73,8 (+2,9 %)	46,8 (+4,3 %)	2,7	
3	Загорская ул., 13	72,2	44,5	27,8	73,2 (+1,3 %)	46,5 (+4,6 %)	26,7	
2	Загорская ул., 18	71,6	42,3	29,3	72,8 (+1,7 %)	53 (+25,2 %)	19,8	
113	Загорская ул., 19	73,5	46,4	27,1	74,2 (+1 %)	46,3 (-0,3 %)	27,9	
115	Загорская ул., 21	73,5	44,3	29,2	74 (+0,6 %)	46,6 (+5,1 %)	27,4	
1	Салтыкова-Щедрина ул., 25	69,7	43,8	26	71,8 (+3 %)	46,4 (+6 %)	25,4	
111	Таращанцев ул., 72	72	57,6	14,5	72,9 (+1,2 %)	49,6 (-13,8 %)	23,3	
119	Тарифная ул., 3	74,6	50	24,6	75 (+0,5 %)	46,9 (-6,3 %)	28,1	
121	Тарифная ул., 5	74,1	43,9	30,2	74,6 (+0,7 %)	46,6 (+6,2 %)	28	
120	Тарифная ул., 7	73,1	48,1	25	72,9 (-0,3 %)	46,7 (-2,9 %)	26,2	
118	Тарифная ул., 9	71,6	47,9	23,7	74,6 (+4,2 %)	46,8 (-2,3 %)	27,8	
95	т. 12	Узлы (тепловые камеры)				74,7	46,3	28,3
56	т. 36					73,4	46,1	27,3
103	У-Лен, 155					74,8	46,9	27,9
		Участки						
27		72	45,2	26,9	74 (+2,7 %)	46,3 (+2,6 %)	27,6	
48		69,9	44,8	25,2	72,8 (+4,2 %)	46,3 (+3,6 %)	26,5	
156		72,8	45	27,8	74,7 (+2,5 %)	46,3 (+3 %)	28,3	
190		72,6	44,1	28,5	73,5 (+1,3 %)	46,1 (+4,6 %)	27,4	
254		70,6	49,3	21,3	75 (+6,2 %)	46,9 (-4,8 %)	28	

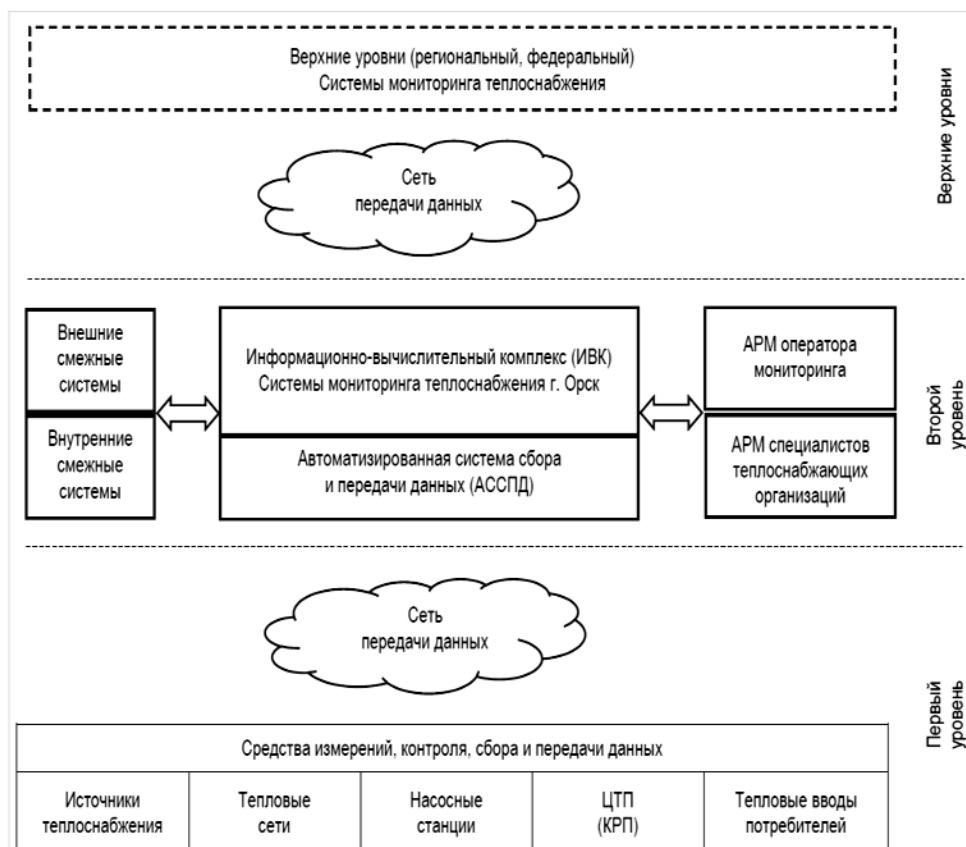
Указанные обстоятельства обуславливают необходимость дальнейшего развития натуральных и численных методов исследования нестационарных процессов, а также внедрения современных энергосберегающих систем для автоматического регулирования теплоснабжения [3], электронной модели систем теплоснабжения для широкого применения в решении практических задач эксплуатации из-за их недостаточного методического обеспечения [4].

Оптимизационные энергосберегающие мероприятия по повышению надежности систем централизованного теплоснабжения для постоянного наблюдения за процессами производства, распределения и реализации (потребления) тепловой энергии и анализа функционирования системы теплоснабжения привели к решению о создании системы мониторинга теплоснабжения [5, 6].

Целью создания системы является информационно-аналитическая поддержка принятия обоснованных управленческих решений по обеспечению надежности и эффективности процессов теплоснабжения.

Достижение указанной цели осуществляется за счет создания, сопровождения и обработки единой базы данных о состоянии систем теплоснабжения.

Система мониторинга теплоснабжения представляет собой иерархическую структуру и является элементом более общей федеральной системы мониторинга теплоснабжения (рис.).



Структурная схема информационно-аналитической системы (системы мониторинга)

Первый (нижний) уровень образуют средства измерений, контроля, сбора, хранения, предварительной обработки и передачи информации на верхние уровни, установленные на объектах теплоснабжения. Второй уровень системы мониторинга образуют программно-аппаратные средства (информационно-вычислительные комплексы (ИВК)), обеспечивающие комплексирование данных с различных объектов и систем теплоснабжения и выполняющие аналитические расчеты [7].

Первый (нижний) уровень чаще всего реализуется в рамках проектов по строительству, реконструкции объектов теплоснабжения, а также производственных программ теплоснабжающих организаций. Второй уровень реализуется в рамках разрабатываемых проектов.

В ИВК реализуются функции:

- сбор и хранение информации, поступающей из разных источников (формирование и ведение единой базы данных о состоянии систем теплоснабжения);

- информационный обмен со смежными системами;
- аналитические расчеты для целей формирования управленческих решений;

- формирование отчетов.

Автоматизированная система сбора и передачи данных (АССПД) предназначена для обеспечения информационной связи между первым и вторым уровнем системы, обеспечения интеграции со смежными (внешними и внутренними) системами. Она включает в себя сервер по сбору данных с соответствующим специальным программным обеспечением и каналобразующей аппаратурой. Соответственно, сервер по сбору данных осуществляет сбор, обработку и передачу информации о работе объектов системы теплоснабжения в смежные системы.

Основными объектами теплоснабжения, подключаемыми к системе, являются:

- источники тепловой энергии;
- тепловые сети с установленным на них оборудованием (насосные станции, контрольно-распределительные пункты (КРП), центральные тепловые пункты (ЦТП), тепловые камеры);
- потребители тепловой энергии и теплоносителя (в том числе ИТП).

Заключение

В результате моделирования повышения надежности, управляемости и качества теплоснабжения, а также создания информационно-аналитической системы мониторинга теплоснабжения можно сделать следующий вывод.

Получение объективных данных о функционировании систем теплоснабжения:

- Получение периодической объективной отчетности и аналитики деятельности по теплоснабжению, включая разбивку по бизнес-процессам и по территориям.

- Обеспечение разработки математических и электронных моделей, отражающих реальное состояние и режимы работы для оценки существующего технического состояния отдельных элементов и систем теплоснабжения в целом, — «цифровых двойников».

- Определение реальных балансов по всем видам товаров, технологических и коммерческих потерь с их локализацией.
- Структурирование результатов обследования (инвентаризации) объектов с определением их фактического состояния.
- Анализ и оценка состояния систем теплоснабжения.
- Сравнение систем теплоснабжения с подобными в других городах.
- Обеспечение прозрачности деятельности для органов регулирования и власти.

Создание и наличие информационно-аналитической системы автоматизированного мониторинга дает возможность определения фактического состояния оборудования косвенным путем — по результатам измерения параметров режима, давая, таким образом, сводку набора характеристик, обеспечивающих косвенный мониторинг.

Система мониторинга становится инструментом сопровождения, информационно-аналитической поддержки и контроля реализации различных мероприятий, в том числе предусмотренных актуализированной схемой теплоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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. РАН. Энергетика. 2018. № 1. С. 12—24.
2. *Tripodi C.* Evolution of the Turin District Heating System and the Design of North-West District Network // *Energethica*. 2012. May 24—26. (In Italian)
3. *Сорокин А. М.* Мониторинг систем теплоснабжения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. Вып. 2(86). С. 115—123.
4. *Дикарева Е. А., Сорокин А. М.* Применение инновационных технологий при ландшафтно-экологической реконструкции нарушенных территорий (на примере города Волгограда) // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 215—223.
5. *Сорокин А. М.* Принципы цифровизации систем теплоснабжения: теория и практика // Проблемы и решения внедрения инновационных технологий в сфере инженерных коммуникаций : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Самарканд, 24 мая 2022 г. Самарканд, 2022. С. 234—238.
6. *Крестьянников А. В., Сорокин А. М.* «Умные сети» систем теплоснабжения г. Волгограда // Инженер. вестн. Дона. 2022. № 7. 12 с. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7789>.
7. *Новицкий Н. Н., Дикин И. И.* Расчет допустимых режимов работы трубопроводных сетей методом внутренних точек // Изв. РАН. Энергетика. 2003. № 5. С. 104—115.

© Сорокин А. М., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Сорокин А. М. Информационно-аналитическая система мониторинга повышения надежности, управляемости и качества теплоснабжения Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 130—137.

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

**INFORMATION AND ANALYTICAL MONITORING SYSTEM
FOR IMPROVING THE RELIABILITY, MANAGEABILITY AND QUALITY
OF VOLGOGRAD HEAT SUPPLY**

Currently, there are a number of shortcomings in the scientific and methodological justification of approaches for solving urgent problems of operation in conditions of high wear of thermal power equipment and pipelines, as well as the development of heat supply systems. It is necessary to introduce mathematical modeling methods into the practice of operation and development of heat supply systems and heating networks as its element, to create a system for constant monitoring of the processes of production, distribution and sale (consumption) of thermal energy and analysis of the functioning of the heat supply system.

This article discusses the mechanisms that contribute to the creation of information and analytical support for making informed management decisions to ensure the reliability and efficiency of the processes of heat supply in Volgograd. The architecture of the monitoring system of district heating systems is proposed, which can be the basis for the organization in practice of monitoring of heat supply systems in order to create a unified database on the state of heat supply systems.

Key words: principles, systems, centralized heat supply, digitalization, quality of heat supply, reliability, heat networks, heat losses, heat supply system.

For citation:

Sorokin A. M. [Information and analytical monitoring system for improving the reliability, manageability and quality of Volgograd heat supply]. *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. 4, pp. 130—137.

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 628.387

Н. Г. Вурдова^а, Е. В. Москвичева^б, А. Г. Тимофеев^б, В. В. Изотов^б, А. В. Кузов^в

^а АО «ГМС Нефтемаш»

^б Волгоградский государственный технический университет

^в Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА НА ПРЕДПРОЕКТНОЙ СТАДИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ)

Реконструкция канализационных очистных сооружений требует проведения на начальном этапе технико-экономических расчетов. Согласно ГОСТ Р 58785-2019, ведется расчет стоимости затрат жизненного цикла объекта строительства. Однако на начальной предпроектной стадии возможно проведение расчетов на основе усредненных «обезличенных» данных (benchmarks). Зарубежные методы оценки широко используют крупные отраслевые компании. Особенностью оценки на этой стадии является высокая неопределенность технологических и стоимостных параметров при определяющем влиянии на затраты проекта принятых ключевых решений. Также приведены результаты технико-экономических расчетов для обоснования инвестиций в реконструкцию водоочистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия различными методами. Впервые для развития методологии поддержки принятия решения предлагается включать в расчеты учет экологических рисков не только на стадии оценки воздействия будущего водохозяйственного объекта, но и на стадии обоснования инвестиций в строительство или реконструкцию водоочистных сооружений.

Ключевые слова: инвестиционный проект, технико-экономическое обоснование, стоимость жизненного цикла объекта строительства, водоочистные сооружения, экономические риски.

Повышенное внимание со стороны государства и общественности, которое уделяется экологической ситуации в стране, заставляет промышленные предприятия активно заниматься внедрением малоотходных систем водоподготовки и водоотведения, основанных на современных технологиях. При всей очевидности потребности, предприятия, однако, не спешат вкладываться в дорогостоящие проекты по очистке сточных вод. Причин здесь несколько. Во-первых, деятельность любого предприятия нацелена на максимизацию прибыли, при этом часто игнорируются социальные и экологические аспекты [1]. Во-вторых, при наличии существующих водоочистных сооружений частично решаются проблемы с природоохранными органами. В-третьих, традиционный подход к экологическому сопровождению при проектировании, строительстве или реконструкции объектов строительства сводится к проведению инженерно-экологических изысканий, разработке «Перечня мероприятий по охране окружающей среды», расчету платы за негативное воздействие и не учитывает влияние реализации экологических рисков [2]. Эти причины являются основными сдерживающими факторами в принятии решения об инвестировании в новое строительство или реконструкцию водоочистных сооружений промышленного предприятия. Однако игнорирование возможных последствий от реализовавшихся экологических рисков, как показал опыт отдельных компаний, существенно более затратный. По нашему мнению, экологические риски должны быть обязательно учтены в инвестпроектах [3, 4].

Проведено исследование различных методик* [5], и выполнены технико-экономические расчеты для обоснования инвестиций в реконструкцию водочистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия (НПЗ) с целью получения более гибкой и удобной методики расчета. Сточные воды НПЗ имеют сложный физико-химический состав (десятки опасных для окружающей среды и жизнедеятельности человека ингредиентов), поэтому подвергаются многоступенчатой очистке. Очищенные до требуемых нормативов сточные воды, как правило, сбрасываются в близлежащие водоемы. Отдельные предприятия организуют малосточные и замкнутые водооборотные системы, применяя так называемые технологии ZLD (Zero Liquid Discharge). Применение оборотных систем водоснабжения промышленных предприятий и совершенствование систем очистки сточной воды являются наиболее перспективными направлениями модернизации производства, особенно в условиях обострения экологических проблем [6].

Применяемые в международной практике методы определения стоимости инвестиционного проекта на предпроектной стадии достаточно разнообразны [7—9]. Выбор того или иного метода зависит от ряда факторов: от существующей в стране специфики инвестиционного проекта, от наличия банка данных аналогичных реализованных проектов, от выбранной контрактной стратегии, системы ценообразования и т. п. Также следует учитывать, что в настоящее время укрупненные нормативы цены строительства, предназначенные для планирования инвестиций (капитальных вложений), разработаны только на различные виды объектов капитального строительства непромышленного назначения и инженерной инфраструктуры, финансирование которых осуществляется из государственных источников, тогда как в промышленном строительстве, реализуемом крупными отраслевыми компаниями без участия государства, внедряются зарубежные методы оценки [10, 11].

Системы ценообразования в строительстве Великобритании, Франции, Германии, США достаточно эффективные, сложные и многоуровневые. Везде есть элементы и базисно-индексного, и ресурсного методов, существуют показатели для оценки стоимости строительства на различных стадиях реализации инвестиционных проектов, начиная от инвестиционного замысла и обоснования инвестиций и заканчивая собственно взаимодействием между заказчиком и подрядчиком в процессе строительства. Широко используются базы данных реализованных проектов. Как правило, это усредненные данные benchmarks.

За рубежом в сфере ценообразования в строительстве работает несколько профессиональных ассоциаций, задающих «правила игры» и условия обмена знаниями и лучшими практиками.

Широко распространены следующие международные стандарты классификации смет:

- AACE — Association for the Advancement of Cost Engineering;
- ANSI — American National Standard Institute;
- ACostE — Association of Cost Engineers (UK);

* Government Construction: Cost Benchmarking Principles and Expectations', Cabinet Office, 2019. 2. Best Practice in Benchmarking, IPA, 2020.

- NFP — Norwegian Project Management Association;
- ASPE — American Society of Professional Estimators.

В настоящее время наиболее распространенным в Российской Федерации международным стандартом классификации смет является ААСЕ (Международная ассоциация развития стоимостного инжиниринга).

Как правило, расчеты на предпроектной стадии служат для обоснования инвестиций или технико-экономического обоснования проекта [12]. Особенностью оценки на этой стадии является высокая неопределенность технологических и стоимостных параметров при определяющем влиянии на затраты проекта принятых ключевых решений. Укрупненная, но адекватная оценка стоимости проекта может гарантировать эффективность капитальных вложений в проект.

Для примера приведем отдельные данные (в дальнейшем авторы используют предприятие, у которого КОС составляет 35 тыс. м³/сут), используемые в дальнейшем для обоснования инвестиций в реконструкцию канализационных очистных сооружений (КОС) нефтеперерабатывающего завода. В соответствии с техническим заданием проведена оценка стоимости реконструкции по классу 5 точности по объектам-аналогам, а также экспертная оценка на основе технико-коммерческих предложений потенциальных разработчиков и поставщиков оборудования, инжиниринговых компаний, реализующих подобные проекты. Например, капитальные затраты на реконструкцию КОС производительностью 35 тыс. м³/сут могут составить до 3 млрд руб. (в ценах 2021 г.), при этом годовые эксплуатационные затраты не превышают 350 млн руб.

Однако наиболее точным методом, позволяющим определить стоимость инвестиционного проекта, является моделирование. Сметы класса 4 формируются, как правило, методом моделирования. Определение стоимости инвестиционного проекта, соответствующего смете класса 4, методом моделирования условно можно разбить на четыре этапа:

- определение структуры и способа определения стоимости проекта;
- сбор информации о проектах-аналогах;
- сопоставление и приведение аналогов технологических установок к требуемым параметрам;
- определение стоимости инвестиционного проекта по приведенным проектам-аналогам методом моделирования.

Метод моделирования, в свою очередь, ранжируется по фактору мощности и (или) по методу приведенных объемов (при наличии данных о физических объемах, трудозатратах).

Этап 1. Определение структуры и способа определения стоимости инвестиционного проекта.

Типовая структура затрат и основа для формирования стоимости инвестиционного проекта в ряде объектов промышленного строительства представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Типовая структура затрат и основа для формирования стоимости инвестиционного проекта

Структура затрат	Доля в общих затратах, %	Способ расчета / основа формирования стоимости
Затраты на предпроектной стадии	2...3	Фактические данные по заключенным договорам (ТЭО), прогнозные данные по будущим договорам (прогноз трудозатрат и среднерыночных расценок на разработку бизнес-плана и документации FEED — предпроектной)
Затраты на строительство технологической установки	65...8	По проектам-аналогам с использованием фактической мощности
Затраты на строительство объектов общезаводского хозяйства (к технологической установке)	8...1	По проектам-аналогам с использованием фактической мощности
Управление проектом	2...4	На основе разработанного плана мобилизации или путем моделирования
Резерв	5...15	Процент от общей предполагаемой стоимости проекта. Определяется экспертно, зависит от сложности и степени проработки предпроектной документации

Этап 2. Сбор информации об объектах-аналогах.

Информация об объектах-аналогах собирается из различных источников и перекрестно проверяется. Особое внимание следует обратить на следующее:

- территориально-климатические условия строительства;
- технологические параметры установок;
- размеры площадок под строительство, особенности компоновок;
- предполагаемые трудозатраты, физические объемы материалов;
- весовые и габаритные характеристики оборудования;
- технологичность предполагаемого строительства;
- стоимость реализованных инвестиционных проектов, их отдельных этапов и компонентов.

Этап 3. Сопоставление и приведение аналогов технологических установок к требуемым параметрам.

Выполняется анализ сходства выбранных объектов-аналогов с рассматриваемым объектом (основные технические характеристики конструктивных, объемно-планировочных, технологических решений, состав технологических установок, размеры площадок и особенности компоновок).

Этап 4. Формирование сметы класса 4 методом моделирования.

Моделирование стоимости объектов по выбранным аналогам может осуществляться:

- по фактору мощности (Capacity-factored Modeling) при наличии полных данных о стоимости объекта-аналога (Capex);

• по методу приведенных объемов (Quantities Rated Modeling) при наличии данных о физических объемах, предполагаемых трудозатратах и пр.

Отдельные подходы и практики в зарубежных системах ценообразования строительства представляют большой интерес применительно к российской системе ценообразования, а именно:

- применение ресурсного метода оценки стоимости строительства, наряду с базисно-индексным;
- применение принципов различной степени детализации сметных расчетов для разных стадий проектирования;
- организация процессов сбора и обработки данных о фактически понесенных затратах на строительство объектов, для корректировки уже сложившихся нормативов и методических подходов. Основным источником данных о стоимостных показателях, о методиках, которые применяются для расчета сметной стоимости, являются данные об уже реализованных инвестиционных проектах и стоимость отдельных затрат в их составе;
- активная работа профессиональных сообществ, которая способствует обмену информацией, развитию экспертизы и установлению единых стандартов;
- сопоставление и анализ стоимости на всех этапах жизненного цикла инвестиционных проектов [13, 14].

Технико-экономические расчеты вариантов реконструкции очистных сооружений

Другая методика основана на определении технико-экономических показателей деятельности предприятия, которые используются для планирования и анализа производственных возможностей предприятия, оценки трудовых и технических возможностей, эффективности использования производственных фондов и трудовых ресурсов. Они являются основой при разработке производственно-финансового плана предприятия. На основе технико-экономических показателей также возможно установление нормативов на будущие периоды в рамках внутрифирменного планирования на предприятии [15].

Расчет производственной мощности

Производственная мощность установки M определяется по ее суточной производительности и времени работы и рассчитывается по формуле

$$M = Q \cdot T_{\text{эф}}, \quad (1)$$

где Q — суточная производительность установки ($Q = 30\,029 \text{ м}^3/\text{сут}$); T — эффективный фонд времени работы оборудования. Установка работает непрерывно в течение календарного года ($T_{\text{эф}} = 365 \text{ сут}$).

$$M = 30029 \cdot 365 = 10\,960\,585 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Расчет инвестиционных затрат на реконструкцию оборудования

Единовременные затраты на реконструкцию складываются так:

$$K_{\text{инв}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{нов}} + K_{\text{дост}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{неучт}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{дем}}$ — затраты на демонтаж выбывающих узлов; $K_{\text{нов}}$ — стоимость вновь устанавливаемых узлов; $K_{\text{дост}}$ — затраты на доставку нового оборудования и материалов; $K_{\text{монт}}$ — затраты на строительные-монтажные работы; $K_{\text{неучт}}$ — неучтенные затраты (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Капитальные затраты на модернизацию по первому этапу

Наименование затрат	Сумма, тыс. руб.
Стоимость нового оборудования	300 000,00
Затраты на монтаж нового оборудования (10 %)	30 000,00
Итого для расчета стоимости основных фондов	330 000,00
Затраты на демонтаж выбывающего оборудования (1 %)	3000,00
Неучтенные затраты (20 %)	66 000,00
Итого для финансирования и оценки экономической целесообразности	399 000,00

Расчет изменения годовых эксплуатационных затрат

Замена насосного оборудования на новое с частотным приводом (ЧРП) и в связи с увеличением расхода воздуха на флотацию ведет к изменению годовых эксплуатационных затрат по статьям «Энергия на технологические цели»:

$$Z_{\text{энерг}} = Ц_{\text{э}} \cdot P_{\text{э}}, \quad (3)$$

где $Ц_{\text{э}}$ — стоимость электроэнергии 2,0 руб./(кВт · ч); $P_{\text{э}}$ — расход электроэнергии, кВт · ч, 6700 тыс. кВт · ч/год;

$$Z_{\text{энерг}} = 6700 \cdot 2,0 = 13\,400 \text{ тыс. руб в год.}$$

До реконструкции 13 688 тыс. руб в год.

$$\Delta Z_{\text{энерг}} = 13\,688 - 13\,400 = 288 \text{ тыс. руб в год.}$$

Расчет изменения затрат на эксплуатацию, содержание и ремонт оборудования

Расчеты изменения затрат на эксплуатацию, содержание и ремонт оборудования сведены в табл. 3 и 4.

Т а б л и ц а 3

Смета изменения затрат на содержание, эксплуатацию и ремонт модернизированного оборудования

Наименование изменяемых расходов	Величина изменения, тыс. руб.
1. Амортизация оборудования (4 % от стоимости оборудования)*	15 960,00
2. Содержание оборудования (1 % от стоимости оборудования)	3990,00
3. Текущий ремонт оборудования (3 % от стоимости оборудования)	11 970,00
4. Капитальный ремонт оборудования (5 % от стоимости оборудования)	19 950,00
<i>Итого</i>	51 870,00
Неучтенные затраты (20 % от учтенных затрат)	10 374,00
<i>Всего</i>	62 244,00

Примечание: * — срок службы сооружений принимаем равным 25 лет, тогда норма амортизации составит: $N_a = 100 / 25 = 4 \%$.

Сводная таблица изменения годовых эксплуатационных затрат

Наименование изменяемых статей	Величина изменения, тыс. руб. («+» — перерасход, «-» — экономия)
Энергия на технологические цели	-268,00
Содержание, эксплуатация и ремонт оборудования, нового оборудования	-62 244,00
Содержание, эксплуатация и ремонт оборудования, старого оборудования	90 000,00
Итого изменение годовых эксплуатационных затрат	-27 488,00
Платежи за сброс на городские очистные сооружения (штрафы за превышение)	-5000,00

Расчет основных технико-экономических показателей проекта

Прирост прибыли равен годовой экономии на эксплуатационных затратах и за вычетом возможных штрафов за превышение показателей:

$$\Delta\P = 27\,488 + 5000 = 32\,488 \text{ тыс. руб.}$$

Прирост чистой прибыли. Чистая прибыль — прибыль, остающаяся у предприятия после уплаты налогов:

$$\Delta\P_{\text{чист}} = \Delta\P - 24\%, \quad (4)$$

где 24 % — налоги.

$$\Delta\P_{\text{чист}} = 24\,690,88 \text{ тыс. руб.}$$

Ожидаемый экономический эффект

Экономический эффект от реализации проекта Э определим по формуле

$$\mathcal{E} = \Delta\P_{\text{чист}} - E_{\text{деп}} \cdot K_{\text{инв}}, \quad (5)$$

где $\Delta\P_{\text{чист}}$ — прирост чистой прибыли, тыс. руб.; $E_{\text{деп}}$ — депозитная процентная ставка, принимаем $E_{\text{деп}} = 15\%$; $K_{\text{инв}}$ — единовременные затраты на реконструкцию, тыс. руб.

$$\mathcal{E} = 24\,690,88 - 0,15 \cdot 399\,000 = -35\,159,12 \text{ тыс. руб.}$$

Срок окупаемости капитальных затрат

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{инв}}}{\Delta\P_{\text{чист}}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{инв}}$ — единовременные затраты на реконструкцию, тыс. руб.; $\Delta\P_{\text{чист}}$ — прирост чистой прибыли, тыс. руб.

$$T_{\text{ок}} = \frac{399\,000}{24\,690,88} = 16 \text{ лет.}$$

Основные технико-экономические показатели первого этапа модернизации отражены в табл. 5.

Для второго и третьего этапов модернизации расчеты выполняются аналогично. Результаты сведены в табл. 6—13.

Т а б л и ц а 5

Основные технико-экономические показатели первого этапа модернизации

Показатели	Ед. измерения	Величина
Производственная мощность	тыс. м ³ /год	10 960,00
Инвестиционные издержки	тыс. руб.	399 000,00
Годовая экономия от снижения годовых эксплуатационных затрат	тыс. руб.	-27 488,00
Прирост чистой прибыли	тыс. руб.	-24 690,88
Платежи за сброс на БОС «Каустик» (штрафы за превышение)	тыс. руб.	-5000,00
Ожидаемый экономический эффект	тыс. руб.	-35 159,12
Срок окупаемости	год	16

Т а б л и ц а 6

Смета капитальных затрат на модернизацию КОС по второму этапу

Наименование затрат	Сумма, тыс. руб.
Стоимость нового оборудования	1 500 000,00
Затраты на монтаж нового оборудования (10 %)	150 000,00
Итого для расчета стоимости основных фондов	1 650 000,00
Затраты на демонтаж выбывающего оборудования (1 %)	15 000,00
Неучтенные затраты (20 %)	330 000,00
Итого для финансирования и оценки экономической целесообразности	1 995 000,00

Т а б л и ц а 7

Смета изменения затрат на содержание, эксплуатацию и ремонт КОС

Наименование изменяемых расходов	Величина изменения, тыс. руб.
1. Амортизация оборудования (4 % от стоимости оборудования)*	79 800,00
2. Содержание оборудования (1 % от стоимости оборудования)	19 950,00
3. Текущий ремонт оборудования (3 % от стоимости оборудования)	59 850,00
4. Капитальный ремонт оборудования (5 % от стоимости оборудования)	99 750,00
<i>Итого</i>	259 350,00
Неучтенные затраты (20 % от учтенных затрат)	51 870,00
<i>Всего</i>	311 220,00

Примечание: * — срок службы сооружений принимаем равным 25 лет, тогда норма амортизации составит: $N_a = 100 / 25 = 4 \%$.

P_3 — расход электроэнергии, кВт · ч, 13 140 тыс. кВт · ч/год.

$Z_{\text{энерг}} = 13\,140 \cdot 2,0 = 262\,80,00$ тыс. руб в год.

До реконструкции 13 668 тыс. руб в год.

$\Delta Z_{\text{энерг}} = 26\,280 - 13\,688 = 12\,612$ тыс. руб в год.

Т а б л и ц а 8

Сводная таблица изменения годовых эксплуатационных затрат второго этапа

Наименование изменяемых статей	Величина изменения, тыс. руб. («+» — перерасход, «-» — экономия)
Энергия на технологические цели	12 612,00
Содержание, эксплуатация и ремонт оборудования, нового оборудования	311 220,00
Содержание, эксплуатация и ремонт оборудования, старого оборудования	-90 000,00
Итого изменение годовых эксплуатационных затрат	233 832,00
Платежи за сброс на городские КОС (штрафы за превышение)	-800 000,00

$$\Delta\Pi = 233\,832 + (-800\,000) = 566\,168,00 \text{ тыс. руб.}$$

$$\Delta\Pi_{\text{чист}} = 430\,287,68 \text{ тыс. руб.}$$

$$\Xi = 430\,287,68 - 0,15 \cdot 1\,995\,000,00 = 131\,037,68 \text{ тыс. руб.}$$

Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1\,995\,000}{430\,287,68} = 4,6 \text{ года.}$$

Т а б л и ц а 9

Основные технико-экономические показатели второго этапа модернизации

Показатели	Ед. измерения	Величина
Производственная мощность	тыс. м ³ /год	10 960,00
Инвестиционные издержки	тыс. руб.	1 995 000,00
Годовая экономия от снижения годовых эксплуатационных затрат	тыс. руб.	233 832,00
Прирост чистой прибыли	тыс. руб.	430 287,68
Платежи за сброс на городские КОС (штрафы за превышение)	тыс. руб.	-800 000,00
Ожидаемый экономический эффект	тыс. руб.	131 037,68
Срок окупаемости	год	4,6

Т а б л и ц а 10

Смета капитальных затрат на модернизацию КОС по третьему этапу

Наименование затрат	Сумма, тыс. руб.
Стоимость нового оборудования	2 150 000,00
Затраты на монтаж нового оборудования (10 %)	215 000,00
Итого для расчета стоимости основных фондов	2 365 000,00
Затраты на демонтаж выбывающего оборудования (1 %)	21 500,00
Неучтенные затраты (20 %)	473 000,00
Итого для финансирования и оценки экономической целесообразности	2 859 500,00

Т а б л и ц а 1 1

Смета изменения затрат на содержание, эксплуатацию и ремонт КОС

Наименование изменяемых расходов	Величина изменения, тыс. руб.
1. Амортизация оборудования (4 % от стоимости оборудования)*	114 380,00
2. Содержание оборудования (1 % от стоимости оборудования)	28 595,00
3. Текущий ремонт оборудования (3 % от стоимости оборудования)	85 785,00
4. Капитальный ремонт оборудования (5 % от стоимсти. оборудования)	142 975,00
<i>Итого</i>	371 735,00
Неучтенные затраты (20 % от учтенных затрат)	74 347,00
<i>Всего</i>	446 082,00

Примечание: * — срок службы сооружений принимаем равным 25 лет, тогда норма амортизации составит: $N_a = 100 / 25 = 4 \%$.

P_3 — расход электроэнергии, кВт · ч, 12 500 тыс. кВт · ч/год.

$Z_{\text{энерг}} = 125\,00 \cdot 2,0 = 25\,000,00$ тыс. руб в год.

До реконструкции 13 688,00 тыс. руб в год.

$\Delta Z_{\text{энерг}} = 25\,000 - 13\,688 = 11\,332$ тыс. руб в год.

Т а б л и ц а 1 2

Сводная таблица изменения годовых эксплуатационных затрат по третьему этапу

Наименование изменяемых статей	Величина изменения, тыс. руб. («+» — перерасход, «-» — экономия)
Энергия на технологические цели	11 332,00
Содержание, эксплуатация и ремонт оборудования, нового оборудования	446 082,00
Содержание, эксплуатация и ремонт оборудования, старого оборудования	-90 000,00
Итого изменение годовых эксплуатационных затрат	367 414,00
Платежи за сброс на городские КОС (штрафы за превышение)	-800 000,00
Платежи за забор воды из реки (294 руб./тыс.м ^{3*} (3944,812 тыс. м ³ за 2021 г.)	-1 159 774,73

$\Delta П = 367\,414,00 + (-800\,000 - 1\,159\,774,73) = 1\,592\,360,73$ тыс. руб.

$\Delta П_{\text{чист}} = 12\,101\,914,15$ тыс. руб.

$\mathcal{E} = 1\,210\,194,15 - 0,15 \cdot 2\,859\,500,00 = 781\,269,15$ тыс. руб.

Срок окупаемости:

$T_{\text{ок}} = \frac{2\,859\,500}{781\,269,15} = 2,4$ года.

Основные технико-экономические показатели третьего этапа модернизации

Показатели	Ед. измерения	Величина
Производственная мощность	тыс. м ³ /год	10 960,00
Инвестиционные издержки	тыс. руб.	2 859 500,00
Годовая экономия от снижения годовых эксплуатационных затрат	тыс. руб.	367 414,00
Прирост чистой прибыли	тыс. руб.	1 210 194,15
Платежи за сброс на городские КОС (штрафы за превышение)	тыс. руб.	-800 000,00
Платежи за забор воды из реки (3,91 руб./м ³ · 32 3481 м ³)	тыс. руб.	-1 264 810,71
Ожидаемый экономический эффект	тыс. руб.	781 269,15
Срок окупаемости	год	2,4

Проведение предварительного квалификационного опроса компаний, специализирующихся на поставках технологий и оборудования для очистки сточных воды НПЗ, позволяет получить оценку стоимости капитальных вложений, удовлетворяющую требованиям 5-го класса в соответствии с методикой ААСЕ. Для более точных результатов можно проводить оценку в соответствии с ГОСТ, согласно которой можно оценить затраты полного жизненного цикла объекта строительства [16].

Согласно заданию заказчика, были проведены технико-экономические расчеты трех вариантов реконструкции очистных сооружений НПЗ, которые позволили разработать программу обоснования инвестиций с поэтапным строительством.

На первом этапе проводится реконструкция существующих КОС. Результатом реализации запроектированных решений должны стать: улучшение степени очистки по отдельным показателям, таким как нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфиды и др. Разработанные мероприятия позволят возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафные санкции от городского водоканала за превышения нормативно-допустимого сброса загрязняющих веществ. Инвестиционные издержки составят 399,0 млн руб. Срок окупаемости — 16 лет [17].

На втором этапе строятся новые блоки биологической очистки. Мероприятия позволят возвращать очищенные стоки на отдельные блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, возвращать часть стоков в качестве технической воды для предприятий-абонентов. Избыток можно направлять на сброс в реку. Инвестиционные издержки составят 1 995,0 млн руб. Срок окупаемости — 4,6 года.

На третьем этапе строятся новые блоки дополнительной доочистки. Мероприятия позволят возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, прекратить забор речной воды на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ. Инвестиционные издержки составят 2 859,5 млн руб. Срок окупаемости — 2,4 года [18, 19].

Для рассматриваемого предприятия приверженность стандартам устойчивого развития является одной из приоритетных. Для повышения своей устойчивости, а также обеспечения промышленной и экологической безопасности предприятие ввело систему риск-менеджмента. Поэтому учет, анализ различных рисков и разработка противорисковых мероприятий проводятся на системной основе. Были рассмотрены варианты количественной оценки вероятности возникновения негативных процессов и явлений, снижающих качество окружающей среды и количественную оценку возможных ущербов от их проявления в случае отказа от принятия решения о реконструкции КОС. Результаты проведенных расчетов и исследований были положены в программу обоснования инвестиций предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скворцов О.* Минимальная цена контракта и наиболее выгодное предложение для заказчика — понятия совершенно разные // *Архитектура и строительство*. 2011. № 10. С. 42—44.
2. *Шабалин А. Н.* Инвестиционное проектирование. М.: Изд-во МФПА, 2004. 139 с.
3. *Экологическая экспертиза / В. К. Донченко, В. М. Питулько, В. В. Расторгуев и др.*; под ред. В. М. Питулько. М.: Академия, 2004. 480 с.
4. *Новоселов А. Л., Лобковский В. А.* Эколого-экономический анализ замещения видов топлива при производстве тепловой и электрической энергии // *Проблемы региональной экологии*. 2014. № 3. С. 71—76.
5. *Москвичева Е. В., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Игнаткина Д. О.* Переработка отходов производства во вторичное сырье как одно из условий обеспечения промышленной безопасности на предприятии // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2014. Вып. 37(56). С. 204—211.
6. *Government Construction: Cost Benchmarking Principles and Expectations*, Cabinet Office, 2019. 2. *Best Practice in Benchmarking*, IPA, 2020.
7. *Тетеркин В.* Оценка затрат на ранних этапах крупного проекта. Пример ПАО «Газпромнефть» // *Журнал по управлению проектами для профессионалов. Вестн. ПМСОФТ*. 2017. № 13. С. 13—16.
8. *Cokins G.* Activity Based Cost Management: An Executive Guide. New York: John Wiley & Sons, 2001. 253 p.
9. Кинетическая модель флотации с использованием смешанного реагента на основе отхода производства / *Е. В. Москвичева, А. В. Москвичева, Д. О. Игнаткина, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов* // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2015. № 40(59). С. 45—57.
10. *Project and cost Engineer's Handbook / Ed. K. K. Humphreys*. 4th ed. New York: Marcel Dekker Inc., 2005.
11. *Venkataraman R. R., Pinto J. K.* Cost and Value Management in Projects. 1st ed. Hoboken, New Jersey, 2011. 304 p.
12. *Дубовицкая Е.* Сходства и различия российского и зарубежного подходов к оценке стоимости строительства нефтегазовых объектов // *Журнал по управлению проектами для профессионалов. Вестн. ПМСОФТ*. 2018. № 14. С. 24—27.
13. Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода / *Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина, Т. А. Кузьмина* // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2013. Вып. 34(53). С. 114—120.
14. *Ржевская Т. В., Петрова П. А.* Методы определения стоимости строительства на предпроектной стадии: международный опыт // *Вестн. гос. экспертизы*. 2020. № 2. С. 15—21.
15. *Мухаррамова Э. Р.* Стоимостной инжиниринг в строительстве // *Российское предпринимательство*. 2016. Т. 17. № 10. С. 1179—1196. DOI: 10.18334/tp.17.10.35283.
16. *Гогина Е. С., Гуринович А. Д.* Применение методики LCC для оценки эффективности инвестиционных проектов сооружений очистки сточных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2016. № 9. С. 36—41.
17. *Bazhenov V., Ustiuzhanin A.* Life Cycle Cost management of blower station construction for wastewater utility // 2014 MATEC Web of Conferences. 2018.

18. *Нестеров А. К.* Основные технико-экономические показатели предприятия. URL: <https://odiplom.ru/lab/osnovnye-tehniko-ekonomicheskie-pokazateli-predpriyatiya.html>.

19. *Paul R., Kenway S., Mukheibir P.* How scale and technology influence the energy intensity of water recycling systems. An analytical review // *J. Clean. Prod.* 2019. Vol. 215. Pp. 1457—1480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.148>.

© *Вурдова Н. Г., Москвичева Е. В., Тимофеев А. Г., Изотов В. В., Кузов А. В., 2022*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Определение стоимости инвестиционного проекта на предпроектной стадии (на примере реконструкции водоочистных сооружений) / Н. Г. Вурдова, Е. В. Москвичева, А. Г. Тимофеев, В. В. Изотов, А. В. Кузов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 138—151.

Об авторах:

Вурдова Надежда Георгиевна — канд. техн. наук, доц., руководитель направления водоснабжения и водоотведения, АО «ГМС Нефтемаш». Российская Федерация, 625003, г. Тюмень, ул. Военная, 44; nadya_vurdova@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р 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

Тимофеев Антон Георгиевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Изотов Владимир Владимирович — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Кузов Алексей Владимирович — канд. хим. наук, старший научный сотрудник лаборатории электрокатализа, Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН. Российская Федерация, 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, 31, корп. 4

Nadezhda G. Vurdova, Elena V. Moskvicheva, Anton G. Timofeev, Vladimir V. Izotov, Aleksey V. Kuzov

^a *JSC “HMS Neftemash”*

^b *Volgograd State Technical University*

^c *Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry*

DETERMINING THE COST OF AN INVESTMENT PROJECT AT THE PRE-PROJECT STAGE (ON THE EXAMPLE OF RECONSTRUCTION OF WATER TREATMENT PLANTS)

Reconstruction of sewage treatment facilities requires feasibility studies at the initial stage. According to GOST R 58785—2019, the cost of the life cycle costs of a construction object is being calculated. However, at the initial pre-project stage, it is possible to carry out calculations based on averaged “impersonal” data (benchmarks). Foreign valuation methods are widely used by large industry companies. A feature of the assessment at this stage is the high uncertainty of technological and cost parameters with a decisive influence on the project costs of the key decisions made. The paper presents the results of technical and economic calculations to justify investments in the reconstruction of water treatment facilities of an oil refinery by various methods. For the first time, to develop a decision support methodology, it is proposed to include environmental risks in the calculations not only at the stage of assessing the impact of a future water management facility, but also at the stage of justifying investments in the construction or reconstruction of water treatment facilities.

Key words: investment project, feasibility study, the cost of the life cycle of the construction object, water treatment facilities, economic risks.

For citation:

Vurdova N. G., Moskvicheva E. V., Timofeev A. G., Izotov V. V., Kuzov A. V. [Determining the cost of an investment project at the pre-project stage (on the example of reconstruction of water treatment plants)]. *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. 4, pp. 138—151.

About authors:

Nadezhda G. Vurdova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, JSC "HMS Neftemash". 44, Voennaya st., Tyumen, 625003, Russian Federation; nadya_vurdova@mail.ru

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

Anton G. Timofeev — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Vladimir V. Izotov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Aleksey V. Kuzov — Candidate of Chemical Sciences, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry. 31, Leninskiy Ave., Moscow, 119071, Russian Federation

УДК 628.33

Ю. Ю. Юрьев, В. П. Батманов, А. В. Москвичева, Д. О. Игнаткина, Д. В. Тырин

Волгоградский государственный технический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Предлагается экономичный и эффективный метод очистки нефтесточков (после механической очистки) с использованием сорбента из нефтеотхода (НОП). Изучены химический состав, физико-химические свойства и характеристики отходов нефтепереработки; определены закономерности их модификации полистиролом для получения нового НОП для очистки нефтесодержащих сточных вод; найдены физико-химические и технологические показатели полученного НОП, необходимые для его использования для очистки воды от нефтепродуктов; исследованы его изотермы сорбции.

Данный сорбент из нефтеотхода, с одной стороны, позволяет утилизировать отходы завода и отходы полимеров, с другой — дает возможность получить дешевый эффективный материал для очистки сточных вод. Удобно и экономически выгодно использовать НОП, полученный из отходов нефтеперерабатывающего завода на самом предприятии, имеющем проблемы с очисткой своих нефтесодержащих стоков на очистных сооружениях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фильтрующий материал, сточные воды, изотермы сорбции, нефтепереработка, загрузка фильтра, фильтрование, нефтепродукт.

Процесс фильтрования определяется множеством технологических параметров, в том числе высотой фильтрующего материала, гидродинамическими режимами процесса, температурой [1—3]. Очень часто более эффективным может оказаться применение менее долговечной, но обеспечивающей большую производительность фильтра загрузки. Кроме того, материалы, применяемые в качестве загрузок водоочистных фильтров, должны иметь необходимую гранулометрическую структуру, химическую стойкость и высокую фильтрующую способность. Сорбент из нефтеотхода (НОП), имеющий в своем составе оксиды металлов, характеризуется высокой устойчивостью к механическим нагрузкам и химическому разрушению, низкой насыпной плотностью, высокоразвитой поверхностью, достаточно высокой нефтеемкостью и, следовательно, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к фильтрующим загрузкам.

Испытания различных фракций разработанного НОП проводились на лабораторной фильтровальной установке. Загрузку адсорбера производили сверху. По мере заполнения промежутка между сетками в адсорбер при помощи стержня опускали насадку. Разборку адсорбера и удаление слоя НОП выполняли в обратном порядке. Фильтрование загрязненной воды проводили при $pH = 7,0$ в следующем порядке: открывали воду на адсорбер, устанавливали расход воды и при заданных параметрах сверху пропускали воду через насадку, снизу собирали очищенную воду и анализировали на содержание нефтепродукта гравиметрическим и фотоколориметрическим методами.

Влияние температуры модельной сточной воды на процесс фильтрования изучали при высоте слоя НОП в фильтровальной колонке 100 мм, используя модельные растворы с начальной концентрацией 5, 10 и 20 мг/л. Удельный расход воды, проходящей через колонку, был равен $7,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Изучение влияния температуры модельной сточной воды на процесс фильтрации показало, что при понижении температуры повышается эффективность удаления нефтепродуктов (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Влияние температуры воды на степень очистки при удельном расходе $7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

Начальная концентрация нефтепродуктов в воде C_0 , мг/л	Размер фракций НОП, мм	Степень очистки при различных температурах, %, при			
		10 °С	20 °С	30 °С	50 °С
5	0,1...0,5	98,60	98,40	97,80	97,20
	1,0...5,0	95,90	95,30	94,50	93,90
	5,0...10,0	88,50	87,90	85,70	81,80
10	0,1...0,5	99,05	98,80	98,30	97,60
	1,0...5,0	96,70	96,40	95,20	94,50
	5,0...10,0	89,70	88,80	86,90	82,80
20	0,1...0,5	99,50	99,30	98,95	98,30
	1,0...5,0	97,60	97,25	96,10	95,25
	5,0...10,0	90,85	90,40	88,45	84,90

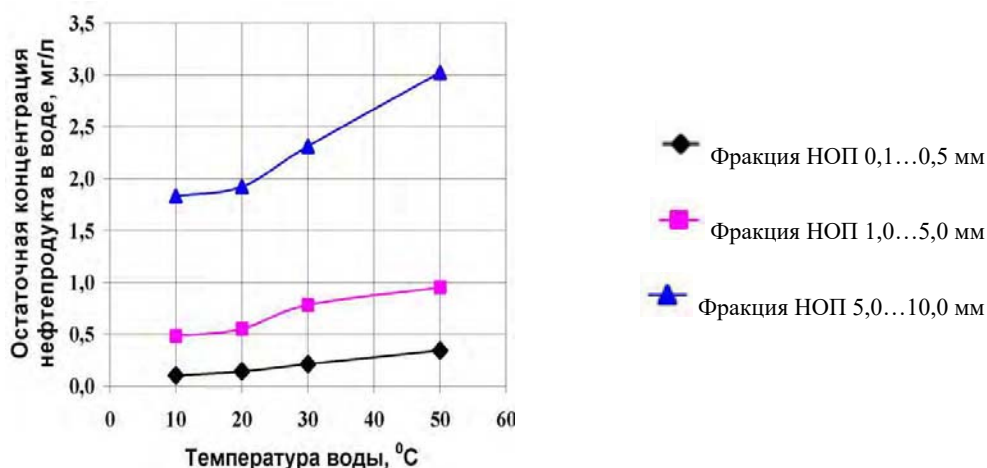


Рис. 1. Зависимость концентрации нефтепродуктов в отфильтрованной воде от температуры при использовании различных фракций НОП и начальной концентрации нефтепродуктов в воде 20 мг/л

Это можно объяснить тем, что при повышении температуры воды снижается вязкость нефтепродукта и облегчается его стекание при фильтрации в последующие по направлению потока слои сорбента. Тем самым более полно используется весь объем фильтрующего слоя, но при этом происходит снижение эффективности очистки.

Также полученные данные свидетельствуют, что с увеличением начальной концентрации нефтепродуктов эффективность очистки увеличивается. При температуре 20 °С и начальной концентрации нефтепродуктов в воде до 20 мг/л, размере частиц фракции НОП, не превышающем 5 мм, степень очистки воды составляет более 95 %.

Изучение процесса фильтрования модельных растворов через слой НОП показало, что степень очистки изменяется в зависимости от удельного расхода воды. При этом немаловажную роль играет фракционный состав фильтрующей загрузки. Объемную скорость модельной сточной воды, измеренную в мл/с, пересчитывали на объемный расход V , м³/с, или на удельный расход, измеряемый в м³/(м² · ч). Начальная концентрация нефтепродуктов в воде составляла 10 мг/л. Данные, полученные в этой серии экспериментов, приводятся в табл. 2. Указанные значения показателей очистки достигались при комнатной температуре спустя некоторое время после начала работы фильтра, а в начальный период фильтрования они превосходили табличные значения.

Таблица 2

Показатели очищенной воды при различных удельных расходах модельной сточной воды ($C_0 = 10$ мг/л)

Номер опыта	Удельный расход воды, м ³ /(м ² · ч)	Содержание нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л		
		Размер фракции НОП: 0,1...0,5 мм	Размер фракции НОП: 1,0...5,0 мм	Размер фракции НОП: 5,0...10,0 мм
1	1,0	0,02	0,09	1,10
2	1,5	0,02	0,11	1,12
3	2,1	0,03	0,14	1,16
4	3,0	0,05	0,19	1,22
5	4,1	0,07	0,21	1,30
6	5,2	0,09	0,24	1,47
7	6,4	0,10	0,27	1,65
8	7,0	0,10	0,31	1,90
9	8,0	0,19	0,39	2,51
10	9,0	0,28	0,59	3,37

Как видно из полученных данных, при применении мелких фракций сорбента степень извлечения нефтепродуктов выше. Так, значения содержания нефтепродуктов в очищенной воде после фильтрования через слой НОП высотой 100 мм для смеси фракций НОП 0,1...0,5 мм уложились в интервал 0,03...0,12 мг/л, для смеси фракций НОП 1,0...5,0 мм — в интервал 0,1...0,3 мг/л, а для смеси фракций НОП 5...10 мм соответствующий показатель очистки колеблется в пределах 1,1...1,9 мг/л при тех же удельных расходах воды, вплоть до 7 м³/(м² · ч). Степень очистки при этом составляет не менее 98,8, 96,9 и 81,0 % соответственно.

При удельных расходах модельной сточной воды до 7 м³/(м² · ч) и температуре 20 °С снижение концентрации нефтепродукта в фильтрате практически отсутствует и может быть достигнуто увеличением площади и времени контакта загрязненной воды с сорбентом, т. е. применением фракции НОП с малым размером частиц и увеличением высоты сорбирующего слоя НОП в фильтре.

Расчет критериев Рейнольдса, характеризующих гидродинамические режимы потоков в заполненном сорбентом адсорбере при удельных расходах 7,0 (Re_i) и 1,0 (Re_i) м³/(м² · ч), приведен ниже* [4]:

* *Варданян М. А.* Доочистка нефтесодержащих сточных вод сорбционным методом на вспученном перлите и разработка технологии : дис. ... канд. техн. наук. Ереван, 2001. 144 с.

$$Re_1 = \frac{W_1 D \rho}{\mu} = \frac{0,95 \cdot 10^{-2} \cdot 39,40 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^{-3}} = 374,3;$$

$$Re_2 = \frac{W_2 D \rho}{\mu} = \frac{0,67 \cdot 10^{-3} \cdot 39,40 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^{-3}} = 26,4,$$

где W_1 и W_2 — линейные скорости модельной загрязненной воды, м/с, измеренные при указанных расходах; D — диаметр фильтра, м; ρ — плотность жидкости, 10 кг/м.

Измерения гидравлического сопротивления слоя НОП показали, что по мере возрастания удельного расхода загрязненной воды оно возрастает. Результаты измерений приведены в табл. 3. Как видно из табличных данных, применение загрузок с различным фракционным составом не влияет сильно на перепад давления, очевидно, вследствие того, что при указанных расходах линейные скорости воды в адсорбере низкие и гидродинамический режим потока ламинарный ($Re < 2300$). Но, тем не менее, с увеличением дисперсности используемого НОП гидравлическое сопротивление растет.

Для дальнейших исследований была взята фракция НОП размером 1,0...5,0 мм.

Были проведены эксперименты, в которых меняли удельный расход воды при постоянном значении высоты загрузки НОП 40 мм (фракция 1,0...5,0 мм). Графические зависимости эффективности очистки воды, загрязненной нефтепродуктами, от пропущенного объема при различных удельных расходах воды представлены на рис. 2.

Таблица 3

Показатели гидравлического сопротивления фильтрующей массы при различных расходах модельной сточной воды

Номер опыта	Удельный расход воды, м ³ /(м ² · ч)	Сопротивление НОП, мм вод. ст.		
		Размер фракции НОП: 0,1...0,5 мм	Размер фракции НОП: 1,0...5,0 мм	Размер фракции НОП: 5,0...10,0 мм
1	6,4	380	330	317
2	5,5	277	240	228
3	4,6	245	221	212
4	3,5	232	208	201

Анализируя зависимости, представленные на рис. 2, можно сделать вывод, что эффективность очистки при расходах воды 3,5; 4,6 и 5,5 м³/(м² · ч) практически одинакова. В начальный момент ($V < 7$ л) при всех расходах воды достигалась эффективность более 98 %. С увеличением расхода до 6,4 м³/(м² · ч) наблюдается уменьшение эффективности, поэтому оптимальным можно считать расход воды 5...6 м³/(м² · ч).

Были проведены эксперименты, в которых варьировали высоту загрузки НОП (фракция 1,0...5,0 мм) при постоянном значении удельного расхода воды 5,5 м³/(м² · ч). Графические зависимости эффективности очистки воды, загрязненной нефтепродуктами, от пропущенного объема при различной высоте загрузки НОП представлены на рис. 3.

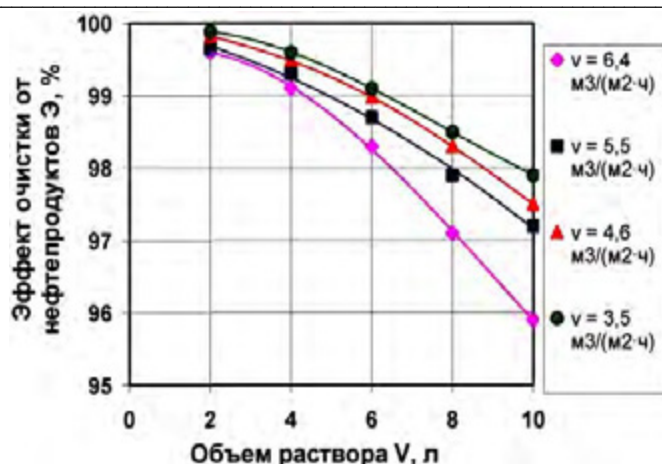


Рис. 2. Зависимость эффекта очистки стоков Э, загрязненных нефтепродуктами, от объема раствора V, пропущенного через слой НОП (фракция 1,0...5,0 мм) при различном удельном расходе воды

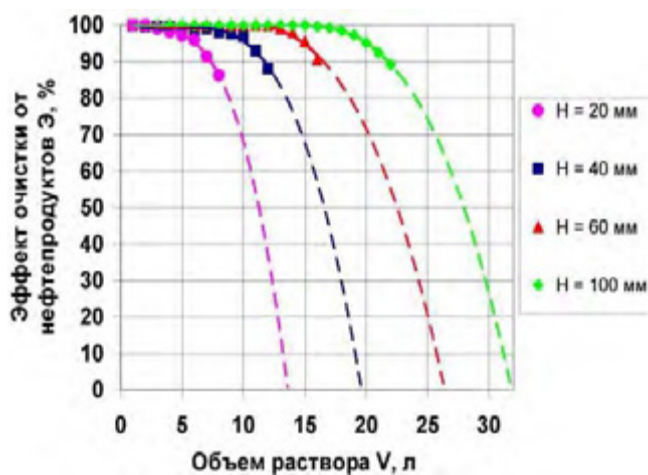


Рис. 3. Зависимость эффекта очистки стоков, загрязненных нефтепродуктом, от объема раствора V, пропущенного через слой НОП (фракция 1,0...5,0 мм) при различной высоте слоя загрузки H

Используя различную высоту слоя НОП в колонке: 20, 40, 60 и 100 мм (см. рис. 3), мы убедились в том, что по истечении некоторого промежутка времени профиль фронта адсорбции становится практически неизменным и перемещается по направлению потока.

Об этом говорит и распределение сорбированных нефтепродуктов на НОП (фракция 1,0...5,0 мм) в фильтровальной установке вдоль слоя НОП (количество нефтепродуктов, сорбированное НОП, уменьшается вдоль высоты НОП, максимально — в верхней части загрузки НОП) [5—7].

При удельном расходе 5...6 м³/(м²·ч) до проскока нефтепродуктов в фильтрат было отфильтровано 25 л модельной сточной воды через ряд последовательно расположенных слоев НОП. Перед разборкой слоев через фильтр сверху вниз была пропущена дистиллированная вода. Анализ показал

отсутствие в ней нефтепродуктов, что говорит о достаточной прочности связывания нефтепродуктов с НОП. Далее фильтр был разобран, слои НОП извлечены, отдельно взвешены и подвергнуты экстракции тетрахлоридом углерода. Результаты анализов после экстракции позволили определить количество извлеченных нефтепродуктов по высоте слоя НОП (рис. 4).

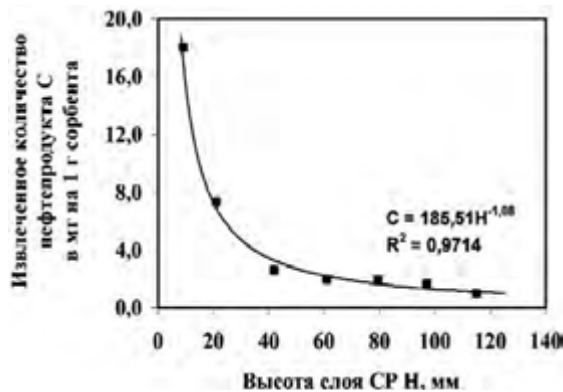


Рис. 4. Зависимость количества удельно извлеченных (поглощенных) нефтепродуктов от высоты слоя СР (расход загрязненной воды $5 \dots 6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$)

В процессе фильтрования нефтесодержащей воды частицы нефтепродуктов улавливаются первыми по направлению потока слоями сорбента, заполняя часть его пор и насыщая этот объем. Это приводит к тому, что данный слой сорбента уже не в состоянии удерживать дополнительные количества нефтепродуктов, поэтому они в виде пленки стекают по стенкам каналов слоя в направлении потока воды [8]. В какой-то момент времени в данном сечении слоя устанавливается равновесие между количеством нефтепродуктов, прилипающих к поверхности слоя, и количеством нефтепродуктов, стекающих из этого слоя в виде пленки в последующие слои, т. е. происходит максимальное насыщение слоя. С течением времени фронт максимальной насыщенности сдвигается к верхней границе насадки, вследствие чего концентрация нефтепродуктов в фильтрате увеличивается. Это является сигналом для отключения установки [9].

Режим параллельного переноса фронта адсорбции [10], перемещающегося с постоянной скоростью U (что указывает на стационарность процесса), выражается известным уравнением Н. А. Шилова:

$$T = KH - \tau, \quad (1)$$

где T — время защитного действия фильтрующего слоя; K — коэффициент фильтрующего (защитного) действия слоя; τ — потеря времени защитного действия слоя; H — высота неподвижного слоя загрузки.

Для построения зависимости времени защитного действия от высоты слоя НОП (фракция $1,0 \dots 5,0$ мм), задавшись требуемой эффективностью процесса очистки воды 98 %, при различных высотах, мы определяли соответствующие объемы фильтрата и тем самым время защитного действия при различных высотах. Графическая зависимость времени защитного действия T от высоты слоя загрузки НОП H представлена на рис. 5.

В результате математической обработки графической зависимости (см. рис. 5) было получено уравнение зависимости времени защитного действия фильтра от высоты слоя НОП (время T , мин; высота H , мм):

$$T = 1,85H - 7,73. \quad (2)$$

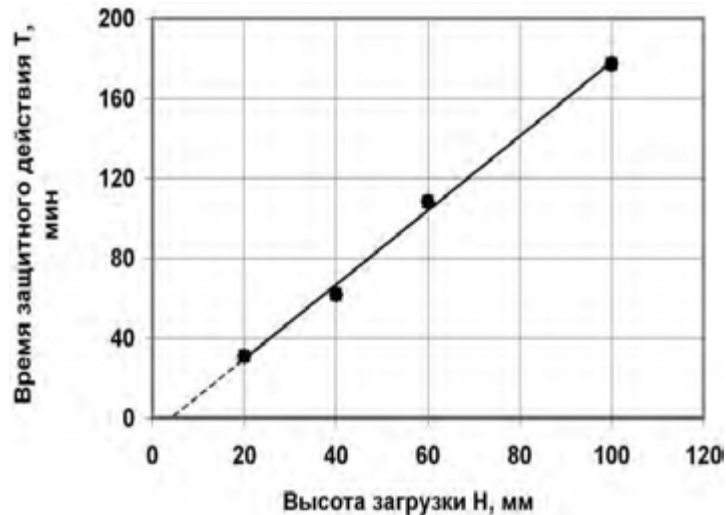


Рис. 5. Зависимость времени защитного действия слоя от высоты слоя загрузки H

Стоит отметить, что экспериментальные данные (см. рис. 4) хорошо аппроксимируются уравнению (1), уравнение (2) выведено с множественным коэффициентом детерминации $R = 0,9963$.

Из уравнения (2) и рис. 4 следует, что при высоте слоя загрузки НОП (фракция 1,0...5,0 мм) в фильтре более 100 мм, расходе загрязненной воды 5...6 м³/(м² · ч) время защитного действия фильтра составляет более 175 мин, а степень очистки от нефтепродуктов достигает более 98 % при достаточно высокой прочности связывания нефтепродуктов в слое НОП, что подтверждает выводы о хороших сорбционных свойствах НОП по нефтепродуктам [11].

Как самый экономичный и эффективный, но менее изученный, для исследования был выбран метод очистки нефтесточков (после сооружений механической очистки) с использованием НОП.

Изучены химический состав, физико-химические свойства и характеристики отходов нефтепереработки; определены закономерности их модификации полистиролом (получен патент РФ) для получения нового НОП для очистки нефтесодержащих сточных вод; найдены физико-химические и технологические показатели полученного НОП, необходимые для его использования для очистки воды от нефтепродуктов; исследованы его изотермы сорбции.

Определены параметры флотационной очистки сточных вод с использованием НОП в качестве загрузки: ввод НОП во флотатор целесообразно осуществлять в потоке засасываемого воздуха; размер фракции НОП — 0,03...0,5 мм; концентрация НОП — 100...150 мг/л; изучена кинетика флотации и найдены константы флотации при различных режимах работы флотационной установки.

Определены параметры фильтровальной очистки сточных вод с использованием НОП в качестве загрузки: получено уравнение, позволяющее определить время защитного действия НОП при различной его высоте; при высоте слоя загрузки НОП (фракция 1,0..5,0 мм) более 100 мм, расходе загрязненной воды $5..6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ время защитного действия фильтра составляет более 175 мин, достигается степень очистки от нефтепродуктов более 98 % при достаточно высокой прочности связывания нефтепродуктов в слое.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Смирнов А. Д.* Сорбционная очистка воды. Л. : Химия, 1982. 168 с.
2. *Лукиных Н. А., Липман Б. Л., Криштул В. П.* Методы доочистки сточных вод. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1978. 156 с.
3. *Бордунов В. В., Коваль Е. О., Соболев И. А.* Полимерные волокнистые сорбенты для сбора нефти // Нефтегазовые технологии. 2000. № 6. С. 30—31.
4. *Жуков А. И., Карпухина П. И.* Доочистка мазутосодержащих сточных вод // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 10. С. 19.
5. *Wilton J. R.* On Ripples // Phil. Mag. Ser. 6. 1915. Vol. 29. No. 173. Pp. 385—394.
6. *Москвичева Е. В.* Использование нефтеотхода в технологии очистки сточных вод // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Техн. науки. 2006. Вып. 6(20). С. 133—136.
7. *Harrison W. J.* Proc. Lon. Math. Soc. Ser. 2. 1908. Vol. 7. Pp. 107—121.
8. Очистка промышленных сточных вод с использованием многоцелевых инженерно-технических устройств / Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, И. М. Шевцова, В. С. Телятникова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 61—72.
9. Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина, Т. А. Кузьмина // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2013. Вып. 34(53). С. 114—120.
10. *Воронов Ю. В.* Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. изд. М. : АСВ, 2016. 734 с.
11. *Безбородова О. Е.* Комплексная утилизация сточных вод предприятий. М. : LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 124 с.

© Юрьев Ю. Ю., Батманов В. П., Москвичева А. В., Игнаткина Д. О., Тырин Д. В., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод / Ю. Ю. Юрьев, В. П. Батманов, А. В. Москвичева, Д. О. Игнаткина, Д. В. Тырин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 152—160.

Об авторах:

Юрьев Юрий Юрьевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Батманов Виктор Павлович — д-р физ.-мат. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kaf_bgdvt@mail.ru

Москвичева Анастасия Владимировна — 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

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

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

Yurii Yu. Yur'ev, Viktor P. Batmanov, Anastasia V. Moskvicheva, Dar'ya O. Ignatkina, Dmitriy V. Tirin

Volgograd State Technical University

IMPROVEMENT OF OIL-CONTAINING WASTEWATER TREATMENT

An economical and effective method of cleaning oil flows (after mechanical cleaning) using a sorbent from oil waste (NOP) is proposed. The chemical composition, physico-chemical properties and characteristics of oil refining waste have been studied; the regularities of their modification with polystyrene to obtain a new NOP for the purification of oily wastewater have been determined; the physicochemical and technological parameters of the obtained NOP necessary for its use for water purification from petroleum products have been found; its sorption isotherms have been investigated.

This sorbent from oil waste, on the one hand, makes it possible to dispose of plant waste and polymer waste, on the other hand, it makes it possible to obtain a cheap effective material for wastewater treatment. It is convenient and cost-effective to use the NOP obtained from the waste of an oil refinery at the enterprise itself, which has problems with cleaning its oil-containing effluents at treatment facilities.

Key words: filter material, waste water, sorption isotherms, oil refining, filter loading, filtration, petroleum product.

For citation:

Yur'ev Yu. Yu., Batmanov V. P., Moskvicheva A. V., Ignatkina D. O., Tirin D. V. [Improvement of oil-containing wastewater treatment]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 4, pp. 152—160.

About authors:

Yurii Yu. Yur'ev — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Viktor P. Batmanov — Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kaf_bgdvt@mail.ru

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

Dar'ya O. Ignatkina — Postgraduate student, 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

УДК 614.894.3

Н. В. Мензелинцева, О. Н. Маринина, Н. Ю. Ермилова, О. В. Проценко

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕГАЗОУЛАВЛИВАНИЯ НА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ ИЗ ИОНООБМЕННЫХ ВОЛОКОН

Проведены испытания разработанного материала в статических и динамических условиях. Анализ результатов показал, что разработанный ионообменный волокнистый материал может использоваться в качестве сорбционно-фильтрующего элемента респиратора, обеспечивая требуемую эффективность защиты по кислым газам и по твердым составляющим сварочного аэрозоля.

Ключевые слова: фильтрующий элемент, сорбционно-фильтрующие материалы, предельно допустимая концентрация (ПДК), сварочный аэрозоль, изотерма сорбции, динамическая активность, статическая обменная емкость.

Ионообменный способ очистки пылегазовоздушных смесей используется в тех случаях, когда необходимо одновременно улавливать твердые частицы и газообразные смеси. В этих случаях применяются иониты в различных формах, в том числе волокнистые.

Волокнистые иониты имеют высокую удельную поверхность, что обеспечивает высокую скорость сорбции при значительной эффективности улавливания [1—6].

Известно использование в процессах пылегазоулавливания волокнистых материалов ВИОН, КМ. Особенно эффективно применение таких материалов в виде пористых перегородок респираторов и респираторных установок [1—7].

Разработан нетканый иглопробивной материал, который используется в качестве пористой перегородки респираторов при улавливании сварочного аэрозоля. Разработанный материал состоит из двух слоев: 1-й слой — анионообменные поликапроамидные модифицированные волокна, 2-й слой — гидрофильное модифицированное хлопкоподобное вискозное волокно [1, 2]. Соотношение слоев по массе составляет 1 : (0,7...0,3) соответственно. В качестве анионообменного волокна используется волокно на основе привитого сополимера поликапроамида и полидиэтиламиноэтилметакрилата¹ [8, 9].

Изотерма сорбции водяных паров разработанным материалом при содержании анионообменного волокна в смеси 50 % масс. (рис. 1) представляет собой кривую S-образного вида, характерную для капиллярно-пористых тел, имеющих развитую тонкопористую структуру² [1]. Гистерезис свидетельствует о набухании материала в процессе сорбции и о неравномерности распределения пор по диаметру.

Согласно теории адсорбции часть изотермы (до 10 %) соответствует мономолекулярной адсорбции, до 80 % полимолекулярной адсорбции. На участке 80...100 % происходит капиллярная конденсация жидкости, а максимальному количеству гигроскопического состояния соответствует влагосодержание образца при 100 %.

¹ *Маринина О. Н.* Совершенствование средств индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков арматурных цехов завода ЖБИ : дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2012.

² Там же.

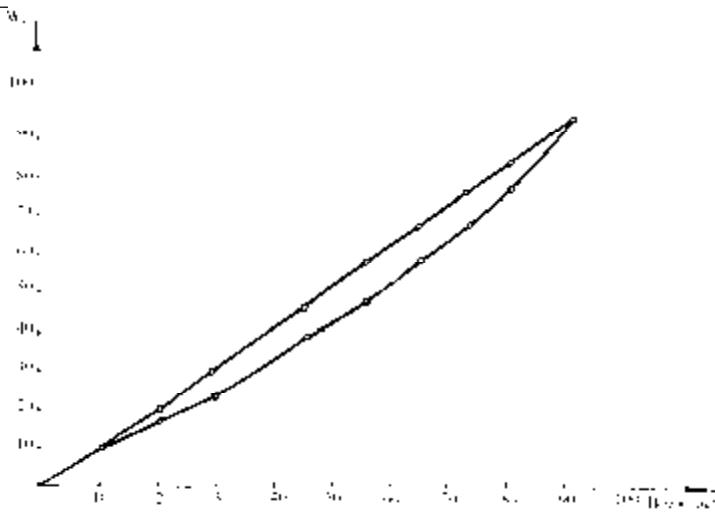


Рис. 1. Изотерма сорбции водяных паров разработанным материалом

Для описания изотермы сорбции применялось уравнение БЭТ, которое можно представить в линейной форме³ [2]:

$$\frac{p/p_0}{a(1-p/p_0)} = \frac{1}{a_m c} + \frac{c-1}{a_m c} p/p_0, \quad (1)$$

где a — величина адсорбции, мг-экв.; p/p_0 — отношение давления водяных паров;

$$c = \exp \frac{q_1 - q_2}{RT},$$

где $(q_1 - q_2)$ — чистая теплота сорбции; a_m — емкость монослоя, мг-экв.

Найденные с помощью уравнения БЭТ величины позволяют определить удельную поверхность по величине адсорбированной влаги монослоя при условии, что еще не происходит капиллярная конденсация паров воды и набухание сорбента. Полученные величины влагосодержания соответствуют разным формам связи влаги с сорбентом, что подтверждает вывод о том, что разработанные сорбенты имеют высокую удельную поверхность, развитую поровую структуру.

В соответствии с современными представлениями о процессе сорбции водяного пара, на первом этапе образуется монослой адсорбированных молекул по типу специфической поверхности адсорбции Ленгмюра. Затем формируется несколько последующих слоев со значительно меньшей энергией связывания. Этому процессу соответствует отрезок изотермы со значительно меньшим градиентом роста количества сорбированного водяного пара: в интервале значений p/p_0 (0,10...0,75) влагосодержание меняется от 2 до 7%. При $p/p_0 > 0,75$ начинается капиллярная конденсация, вызывающая интенсивное набухание сорбента и осмотическое поглощение влаги.

³ Там же.

Исследована поровая структура материала. Микропоровую структуру нетканых материалов исследовали методами термограмм сушки и по методу изотерм сорбции-десорбции. Макропоровую структуру изучали методом капиллярного поднятия жидкости. По результатам исследований построены дифференциальные и интегральные кривые распределения пор по размерам, анализ которых показал, что основной объем порового пространства образуют микропоры размером $(5...25) \cdot 10^4$ мкм и макропоры размером 250...630 мкм.

Сравнительные характеристики физико-механических свойств защитного материала приведены в табл. 1.

Для оптимизации структуры и свойств фильтрующего материала проведен эксперимент по плану В₃. В качестве параметров оптимизации были выбраны: Y_1 — время защитного действия по HF, ч; Y_2 — воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [10, 11]⁴.

В качестве варьируемых факторов были приняты: X_1 — содержание хлопкоподобного высокомолекулярного модифицированного вискозного волокна, %; X_2 — число смен работы до замены фильтрующего элемента (ФЭ); X_3 — толщина фильтрующего слоя, мм.

Согласно плану В₃ факторы варьируются на трех уровнях (табл. 2). При переходе от матрицы планирования к рабочей матрице эксперимента использовали соотношение

$$X_i = \frac{c_i - c_0}{I_i}, \quad (2)$$

где X_i — кодированное значение i -го фактора; c_0, c_i — натуральное значение фактора на нулевом уровне и на i -м уровне соответственно; I_i — интервал варьирования i -го фактора.

Выбор уровня варьирования факторов объясняется техническими возможностями оборудования и требованиям к фильтрующим материалам.

В результате реализации эксперимента и его обработки получены адекватные уравнения (проверка на адекватность осуществлялась по критерию Фишера), которые с учетом значимых коэффициентов (значимость коэффициентов проверяли по критерию Стьюдента) имеют вид в кодированных величинах:

$$Y_1 = 29,01 + 11,22x_3 - 4,54x_3^2, \quad (3)$$

$$Y_2 = 427,57 + 14,57x_2 - 172,07x_3 - 32,38x_1x_2 - 31,66x_2x_3 + 55,66x_2^2 \quad (4)$$

и в именованных:

$$Y_1 = 29,01 + 11,22 \left(\frac{h-4}{2} \right) - 4,54 \left(\frac{h-4}{2} \right)^2 = -11,61 + 14,7h - 11,3h^2, \quad (5)$$

$$Y_2 = 427,57 + 14,57 \left(\frac{n-14}{4} \right) - 172,07 \left(\frac{h-4}{2} \right) - 32,38 \left(\frac{N-50}{20} \right) \left(\frac{n-14}{4} \right) - 31,66 \left(\frac{n-14}{4} \right) \left(\frac{h-4}{2} \right) + 55,66 \left(\frac{n-14}{4} \right)^2. \quad (6)$$

⁴ Там же.

Таблица 1

Результаты испытаний защитного материала

Поверхностная плотность материала, г/м ²	Поверхностная плотность слоя ионообменного волокна, г/м ²	Поверхностная плотность слоя волокна, г/м ²	Время защитного действия, ч	Разрывная нагрузка <i>N</i> по длине и ширине		Жесткость при изгибе по длине и ширине	Воздухопроницаемость, дм ² /м ²	Гигроскопичность, %	Число смен до замены фильтрующего элемента
				по длине	по ширине				
300	210	90	30	120	140	6,5	250	9,5	15
300	180	120	26	115	100	7,8	210	9	13
300	150	150	21	101	98	9,4	168	8,9	11
300	120	180	17	100	90	10,2	140	8,25	7
300	90	210	15	96	90	11	120	8	4

Т а б л и ц а 2

Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Содержание модифицированного высокомолекулярного хлопкоподобного вискозного волокна N , %	X_1	35	50	75	25
Число смен до замены ФЭ n	X_2	100	120	140	20
Толщина фильтрующего слоя h , мм	X_3	280	400	520	120

Построены двумерные сечения поверхностей отклика. Анализ полученных закономерностей позволил сделать вывод о преимущественном влиянии толщины материала на рассматриваемые параметры. Проведена оптимизация структуры и свойств разработанного материала методом наложения сечений поверхностей отклика. Найдены оптимальные параметры структуры: толщина материала 2,0...2,5 мм, содержание хлопкоподобного высокомолекулярного вискозного волокна 30...40 %⁵ [1, 10, 11].

Динамическую активность (ДА) выражали отношением количества поглощенного сорбентом газа до проскока (или до насыщения) к его СОЕ. Роль влаги в процессе сорбции подтверждается результатами исследования ДА сорбента в зависимости от влажности ГВС (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Зависимость количества поглощенного газа от влагосодержания сорбента и влажности ГВС

Влажность		Время, мин		Количество сорбированного газа, мг/г сух. волокна	
Сорбент КМ-А1	ГВС	До проскока	До насыщения	До проскока	До насыщения
9	65	2	159	2,43	79,28
40	65	9	180	11,08	98,16
65	65	17	241	16,94	126,07
90	65	25	287	23,01	157,18
100	65	32	371	30,46	205,16
65	9	3	65	3,98	35,03
65	40	8	112	12,03	66,94
65	63	17	204	17,19	132,13
65	90	51	438	56,08	270,01
65	100	68	520	66,02	321,56

В табл. 4 приведены экспериментальные данные по зависимости динамической активности от концентрации фтористого водорода в ГВС.

⁵ Там же.

Зависимость сорбционных характеристик от концентрации HF в ГВС

Концентрация H , мг/м ³	Время, мин		Количество сорбированного HF, мг/г сух. сорбента		Эффективность поглощения, %
	До проскока	До насыщения	До проскока	До насыщения	
Сорбент КМ-А1					
0,6	83	972	15,97	108,39	265,70
1,4	37	488	16,69	127,72	348,41
2,5	18	244	17,19	151,89	415,00
3,7	15	227	18,91	169,12	461,62
6,0	11	135	25,18	179,72	491,04

Примечание. Влажность ГВС $\phi_{\text{ГВС}} = 65\%$; влагосодержание сорбента $\phi_{\text{сор}} = 5,7\%$; скорость пропускания ГВС $V_{\text{ГВС}} = 3$ см/с; высота слоя сорбента $H = 4,5$ мм.

На рис. 2 показана зависимость ДА от высоты слоя сорбента, анализ которой показал, что при увеличении толщины слоя ДА сначала возрастает, а затем остается практически постоянной [1, 12, 13].

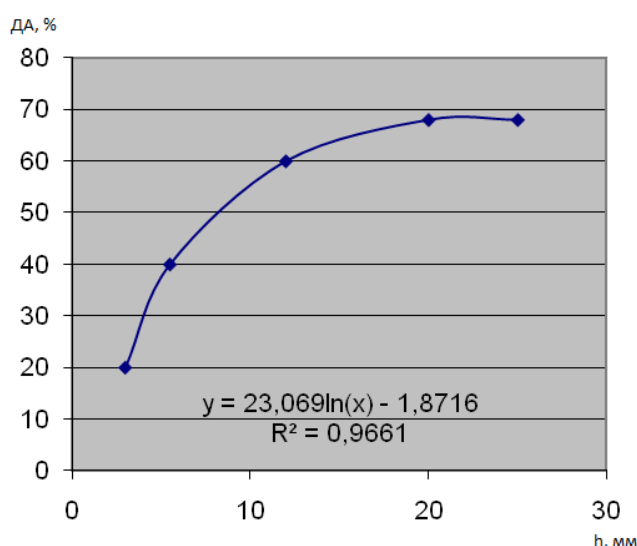


Рис. 2. Зависимость динамической активности ионита от высоты слоя сорбента при концентрации HF в ГВС 2,5 мг/м³, скорости пропускания ГВС 3 см/с, температуре ГВС 25 °С, исходном влагосодержании сорбентов 5,5 %

Анализ зависимости времени защитного действия τ от высоты слоя сорбента H при улавливании фтористого водорода (рис. 3) позволил сделать вывод о том, что полученную зависимость можно описать известным уравнением динамики сорбции Шилова [2], которое для случая $H > H_0$ имеет вид

$$\tau = kH - \tau_0, \quad (7)$$

где H_0 — длина работающего слоя сорбента, см; τ_0 — потеря времени защитного действия; k — коэффициент защитного действия, $k = 5,8$ мин/см.

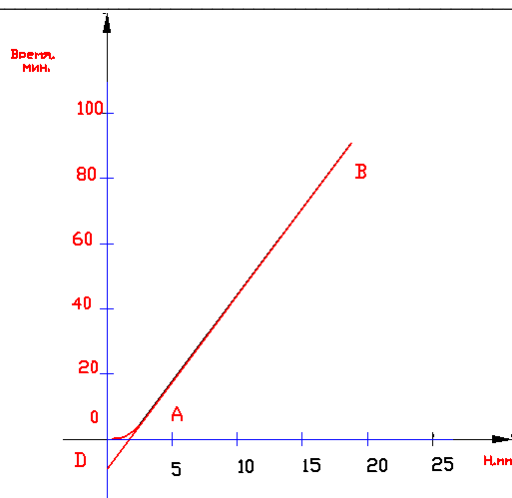


Рис. 3. Зависимость времени защитного действия от высоты слоя при концентрации $HF = 2,5 \text{ мг/м}^3$, скорости пропускания ГВС 3 см/с , исходном влагосодержании образца $5,5 \%$, температуре ГВС $25 \text{ }^\circ\text{C}$, влажности ГВС 65%

Анализ приведенных данных показывает, что разработанные материалы обладают высоким временем защитного действия, достаточно хорошими показателями проницаемости. Введение в состав сорбента гидрофильного модифицированного хлопкоподобного вискозного волокна повышает защитные свойства ионитов. Отмеченное обстоятельство объясняется тем, что при введении в состав сорбента гидрофильного волокна повышается общая влажность сорбента, происходит дополнительное набухание ионообменных волокон, повышается их удельная поверхность и, соответственно, поверхность контакта с сорбируемым газом. Следовательно, увеличивается количество поглощенного вещества, повышается время защитного действия по очищаемому газу, повышается устойчивость фильтрующей среды к агрессивным средам⁶ [1, 11].

Выводы

1. Разработан иглопробивной нетканый материал, содержащий слой из анионообменного поликапроамидного волокна и слой хлопкоподобного высокомолекулярного модифицированного вискозного волокна. Исследованы структура, физико-химические свойства, поровая структура; установлено, что разработанный материал обладает высоким временем защитного действия, высокой прочностью и достаточной гигроскопичностью, что определяет эффективность процессов пылегазоулавливания.

2. Получены уравнения регрессии, устанавливающие связь между показателями основных свойств сорбентов и параметрами их структуры. Определены оптимальные параметры структуры материала.

3. Проведены теоретические и экспериментальные исследования эффективности разработанного материала как в статических, так и в динамических условиях. Получены экспериментальные зависимости ДА от высоты слоя сорбента, уточнено уравнение динамики Шилова для разработанного сорбента.

⁶ Там же.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Маринина О. Н., Ермилова Н. Ю., Маринина Е. А.* Использование респираторов типа «Снежок ГП-В» на основе двухслойного материала для защиты органов дыхания сварщиков // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 122—127.
2. *Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н.* Исследование защитных свойств респираторов типа «Снежок-ГП-В» при проведении сварочных работ // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2011. Вып. 24(43). С. 77—81.
3. Dispositif de retenue positionnement et l'avant d'une manche de filtrage a manches : заявка 2709803 Франция : МКИ⁶ F Д 41/12 / Montaciar Jean Paul, Carre Serge. № 9310569 ; заявл. 06.09.93 ; опублик. 17.03.95.
4. Filtereinheit zum Reinigen von staubbelasteter Prozessluft : заявка 10113215 Германия : МПК⁷ В 01 В 46/04 / Lubberes Matthias. № 10113215.8 ; заявл. 18.03.01 ; опублик. 19.09.02.
5. Produktabschneider : заявка 19753070 Германия : МПК⁶ В 01 D 46/26 / Dieckmann Peter. № 19753070.2 ; заявл. 29.11.97 ; опублик. 02.06.99.
6. Filteranlage : заявка 19641257 Германия : МПК⁶ В 01D 41/42 / Hennen Hermann. № 19461257.9 ; заявл. 07.10.96 ; опублик. 16.04.98.
7. Filter zur Teilchenabscheidung und Verfahren zur Filterreinigung : заявка 4313469 ФРГ : МКИ⁵ В01 D 46/42 / W. Esch ; заявл. 24.04.93 ; опублик. 17.11.94.
8. *Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н.* Оценка защитных свойств сорбционно-фильтрующих материалов // Социально-экономические и технологические проблемы развития строительного комплекса региона : IV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Михайловка, 2011. С. 173—175.
9. *Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н., Фомина Е. О.* Исследование защитных свойств универсальных респираторов типа «Снежок» // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 69—72.
10. *Мензелинцева Н. В., Фомина Е. О., Маринина О. Н.* Оценка свойств противогазовых волокнистых сорбционно-фильтрующих элементов респираторов и респираторных установок // Материалы VIII Междунар. конф. Самарканд, 2010. С. 26—27.
11. *Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н.* Анализ эффективности использования средств индивидуальной защиты органов дыхания в строительной промышленности // Окружающая среда и здоровье : материалы междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2009. С. 77—80.
12. *Schobesberg Manfred.* Optimiser la conception l'entretien des filtres a manches // Ind/cerum/et verr. 1999. No. 4. Pp. 248—253.
13. *Ross S. E.* Nonwovens: An Updated Review // American Dyestuff Reporter. 1971. Vol. 60. No. 9. Pp. 68—83.

© Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н., Ермилова Н. Ю., Проценко О. В., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Мензелинцева Н. В., Маринина О. Н., Ермилова Н. Ю., Проценко О. В. Особенности процессов пылегазоулавливания на текстильных материалах из ионообменных волокон // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 161—169.

Об авторах:

Мензелинцева Надежда Васильевна — д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; menzelintseva_nv@mail.ru

Маринина Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доц. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; day.meednight@gmail.com

Ермилова Наталья Юрьевна — канд. пед. наук, доц., доц. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; n.y.ermilova@yandex.ru

Проценко Оксана Владимировна — старший преподаватель каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Nadezhda V. Menzelintseva, Ol'ga N. Marinina, Natal'ya Yu. Ermilova, Oksana V. Protsenko

Volgograd State Technical University

PECULIARITIES OF DUST AND GAS COLLECTION PROCESSES ON TEXTILE MATERIALS MADE OF ION-EXCHANGE FIBRES

The developed material was tested under static and dynamic conditions. The analysis of the results showed that the developed ion-exchange fibrous material can be used as a sorption-filtering element of a respirator, providing the required protection efficiency for acid gases and solid components of a welding aerosol.

Key words: filtering element, sorption-filtering materials, maximum permissible concentration (MPC), welding aerosol, sorption isotherm, dynamic activity, static exchange capacity.

For citation:

Menzelintseva N. V., Marinina O. N., Ermilova N. Yu., Protsenko O. V. [Peculiarities of dust and gas collection processes on textile materials made of ion-exchange fibres]. *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. 4, pp. 161—169.

About authors:

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

Ol'ga N. Marinina — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; day.meednight@gmail.com

Natal'ya Yu. Ermilova — Candidate of Pedagogic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; n.y.ermilova@yandex.ru

Oksana V. Protsenko — Senior Lecturer of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 519.25:627.11

Н. Р. Ахмедова, В. А. Наумов

Калининградский государственный технический университет

АНАЛИЗ РЯДА МАКСИМАЛЬНЫХ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕКИ ИНСТРУЧ (1901—2019)

**Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ
и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016**

В работе представлены результаты изучения максимальных годовых расходов реки Инстроч. Исходными данными послужили данные наблюдений гидрологического поста Ульяново (Калининградская область). Проведенный ранее анализ показал невозможность разделения рядов по признакам половодье — паводки. Был сформирован единый ряд максимальных годовых расходов за период 1901—2019 гг., проверка выполнения требований нормативных документов показала его однородность по дисперсии. Получено составное аналитическое выражение трехпараметрического гамма-распределения (Крицкого — Менкеля). Определены расчетные значения максимальных годовых расходов реки Инстроч заданной вероятности превышения. Установлено, что пренебрегать неоднородностью при расчете расходов с малой обеспеченностью недопустимо, так как погрешность может превысить 30 %.

Ключевые слова: река Инстроч, максимальные годовые расходы воды, половодье, паводки, вероятность превышения, теоретическая кривая, расчеты.

Введение

Исследования годового пикового стока и его временных вариаций широко используются в процессе планирования и принятия решений по управлению водными ресурсами [1—4]. Эти данные необходимы при планировании развития городских территорий, примыкающих к реке [5—7].

В соответствии с нормативными документами при проектировании различных гидротехнических сооружений (ГТС) необходимо определять расчетные максимальные годовые расходы воды (МГРВ) в реке Q_P с заданной обеспеченностью (ежегодной вероятностью превышения P в процентах). Так, МГРВ рассчитываются при проектировании постоянных речных ГТС для основного и поверочного случая. Величина P установлена в зависимости от класса ответственности ГТС¹. Для ГТС первого класса Q_P определяется при $P = 0,1$ % в основном расчете и при $P = 0,01$ % — в поверочном (в последнем случае учитывается еще гарантированная поправка). Для ГТС четвертого класса Q_P рассчитывается при $P = 5$ % в основном расчете и при $P = 1$ % — в поверочном. Чтобы выполнить указанные расчеты, необходимо найти кривую обеспеченности — функцию связи ($P — Q_P$). Методика определения такой функции приведена в нормативном документе². Однако, наряду с общими закономерностями, сток разных рек имеет заметные особенности. Изучению

¹ СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. М. : Стандартинформ, 2020. 39 с.

² СП 33-101—2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик : одобрен для применения в качестве нормативного документа Постановлением Госстроя России № 218 от 26 дек. 2003 г.

таких закономерностей посвящены многие исследования (см. [8—13] и библиографию в них).

Для большинства рек европейской части России наибольшие расходы и уровни наблюдаются в период весеннего половодья, что связано с накоплением запасов воды в снежном покрове за зимние месяцы и последующим быстрым таянием при наступлении положительных температур воздуха. В работе [8] были изучены МГРВ рек в районе западной части трассы Байкало-Амурской магистрали с очень сложным режимом паводочного стока. В период снеготаяния и на спаде весеннего половодья нередко выпадают значительные дожди, поэтому в объемы весеннего половодья могут входить до 30...40 % дождевых вод. Расчленение гидрографов и выделение снеговой и дождевой составляющих затруднено тем, что сеть метеостанций очень редкая.

Авторы [9] предложили модифицированную модель на основе искусственной нейронной сети (ANN-Wavelet) для прогнозирования годового максимального стока рек. У предложенной модели ANN-Wavelet индекс детерминации ($R^2 = 0,39$) оказался немногим лучше, чем у ранее используемой модели ANN ($R^2 = 0,31$). Тем не менее авторы [9] считают, что предложенная ими модель обладает большим потенциалом для лучшего отражения динамики пикового стока. Возможности оценки обеспеченности МГРВ рек Приангарья были изучены в [10].

Отдельные характеристики МГРВ реки Инстроч годы были рассчитаны в работе [14]. Качественные особенности половодья и паводков реки Инстроч в 2008—2016 гг. были рассмотрены в [15, 16]. Формирование погодных условий на территории Калининградской области происходит под влиянием воздушных масс, приходящих с Атлантического океана. В зимний период вторжение этих масс вызывает потепление и частые оттепели. В Калининградской области зимы с устойчивыми морозами бывают в среднем через два-четыре года. Анализ гидрографов за период 2008—2016 гг. показал, что весеннее половодье на реке Инстроч не имело одного выраженного пика, а носило гребенчатый характер из-за чередования заморозков и оттепелей. Максимальные расходы из-за таяния снега и льда наблюдались в период с начала декабря по конец марта. На них накладывались дождевые паводки.

В [17] были построена эмпирическая кривая обеспеченности максимальных годовых расходов реки Инстроч. Для их сглаживания было использовано распределение Крицкого — Менкеля. Параметры аналитической кривой определялись методом моментов. Но указанные кривые обеспеченности были построены по данным начиная лишь с 2008 г. При этом, как в [18], коэффициент вариации принят равным $C_v = 0,58$; соотношение $C_s / C_v = 2$. Заметим, что в [18] параметры распределений найдены по данным наблюдений до 1966 г. Цель данной статьи — найти кривую обеспеченности МГРВ реки Инстроч по всему ряду наблюдений и определить по ней расчетные значения максимального расхода вероятности превышения, предусмотренной нормативными документами.

Материалы и методы

В качестве исходных данных были использованы результаты наблюдений за расходами воды в реке Инстроч, гидрологический пост — село Ульяново (ГПИ), прежнее название — Краупишкен. По данным автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов

(АИС ГМВО)³, ГПИ открыт в 1885 г. и функционирует в настоящее время. Отметка нуля ГПИ 13,23 м в Балтийской системе. Площадь водосборного бассейна до ГПИ составляет 587 км², расстояние от истока — 51 км, от устья — 50 км. Инструч можно отнести к малым рекам.

В гидрологический ежегодник (ГЕ) 1964 г. [19] были помещены средние суточные расходы воды (ССРВ) ГПИ за следующие годы: 1901—1913, 1916, 1918—1939, 1941—1943, 1947. Начиная с 1949 г. и по настоящее время имеются результаты непрерывных наблюдений ССРВ. АИС ГМВО⁴ предоставляет ССРВ ГП реки Инструч с 2008 г., в настоящее время по 2019 г. Всего удалось найти $n = 111$ значений МГРВ. Часть собранных данных представлена в табл. 1.

Таблица 1

МГРВ реки Инструч (Ульяново)

№ пп	Дата	Q , м ³ /с	№ пп	Дата	Q , м ³ /с	№ пп	Дата	Q , м ³ /с
1	16.03.1901	55,6	26	30.03.1929	43,5	100	15.03.2008	30,5
2	03.01.1902	46,4	27	24.11.1930	41,5	101	20.03.2009	13,6
3	31.01.1903	44,5	28	09.04.1931	47,5	102	21.03.2010	30,4
4	27.03.1904	23,3	29	03.04.1932	46,0	103	08.02.2011	22,7
5	13.03.1905	50,6	30	27.08.1933	55,6	104	04.12.2012	22,9
6	08.03.1906	53,2	31	25.03.1934	33,5	105	15.04.2013	14,9
7	06.09.1907	70,6	32	22.02.1935	50,9	106	29.03.2014	14,6
8	02.04.1908	40,6	33	14.01.1936	32,8	107	31.12.2015	8,40
9	01.04.1909	35,6	34	16.03.1937	76,5	108	25.02.2016	38,6
10	01.01.1910	21,0	35	07.02.1938	43,3	109	15.10.2017	56,1
11	26.02.1911	33,2	36	19.01.1939	52,0	110	01.02.2018	42,2
...			...			111	17.02.2019	18,0

В нормативном документе⁵ предписано определять расчетные характеристики максимального стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков раздельно. Но при невозможности разделения максимальных за год расходов воды на максимумы дождевых и талых вод допускается построение кривых распределения ежегодных вероятностей превышения МГРВ независимо от их происхождения, как в [8]. Именно на такую ситуацию на реках Калининградской области в 2008—2016 гг. было обращено внимание в [15, 16]. В последующие годы характер внутригодового стока на реке Инструч не изменился. На рис. 1 в качестве примера представлен гидрограф — средние суточные расходы воды (ССРВ) 2018 г. Резкий рост расходов воды в конце января — начале февраля сменился снижением из-за вернувшихся заморозков. Поэтому пики гидрографа в марте и апреле были заметно ниже. Кроме того, в Калининградской области во время весеннего половодья нередко наблюдаются затяжные дожди. Часто разделение стока на половодье и паводки не представляется возможным.

³ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru>.

⁴ Там же.

⁵ СП 33-101—2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: одобрен для применения в качестве нормативного документа Постановлением Госстроя России № 218 от 26 дек. 2003 г.

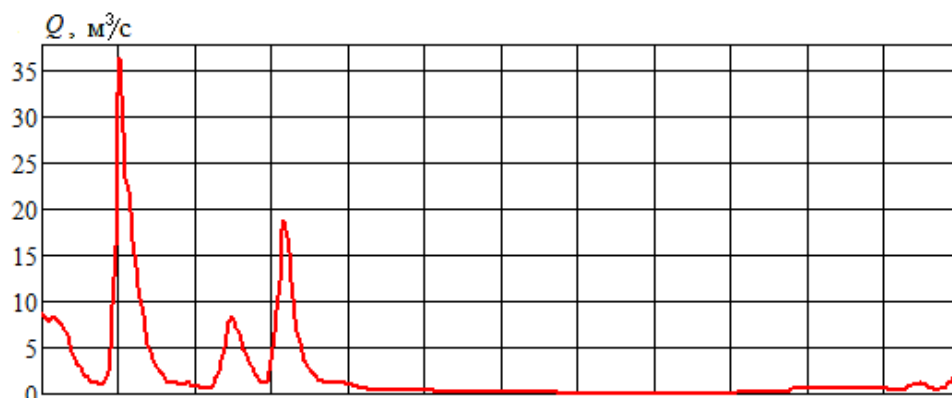


Рис. 1. ССРВ реки Инструч (Ульяново) в 2018 г. по данным АИС ГМВО⁶

Не следует думать, что такие гидрографы, как на рис. 1, характерны только для последних десятилетий как следствие изменения климата. Весь XX век на реках региона можно было наблюдать аналогичную картину каждый второй, максимум — третий год. Для примера на рис. 2 представлен гидрограф реки Инструч 1902 г. с несколькими пиками в январе — марте из-за чередования оттепелей и заморозков.

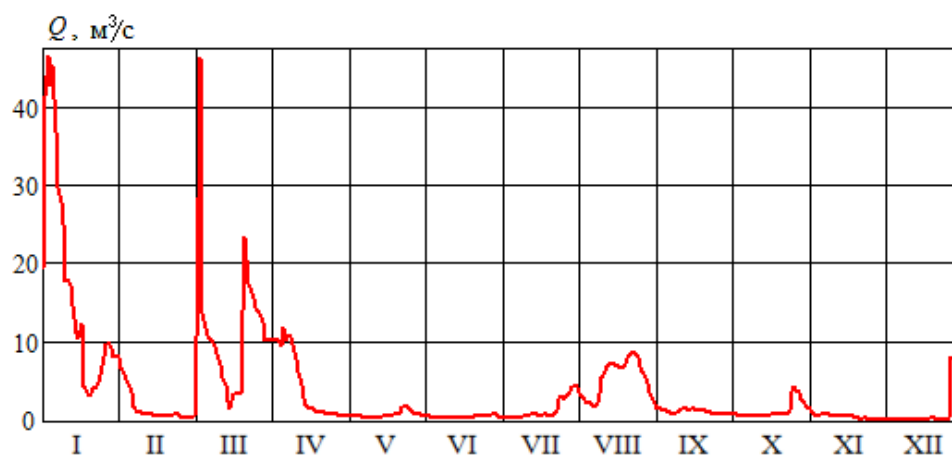


Рис. 2. ССРВ реки Инструч (Ульяново) в 1902 г., по данным [19]

Будем искать единую кривую распределения МГРВ реки Инструч по результатам наблюдений начиная с 1901 г. (точки на рис. 3). Пропуски обусловлены отсутствием данных наблюдений за некоторые военные и послевоенные годы (1914, 1915, 1917, 1940, 1944—1946, 1948). Их восстановление не представляется возможным, так как на реках региона, которые бы могли послужить аналогами, пробелов в наблюдениях еще больше.

⁶ URL: <https://gmvo.skniivh.ru>.

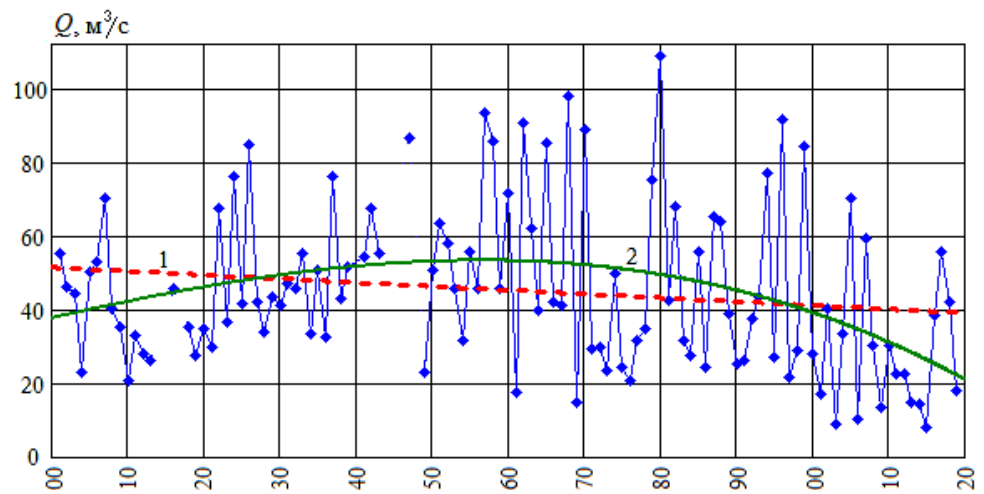


Рис. 3. МГРВ реки Инструч (Ульяново, 1901—2019): точки — данные наблюдений, линии — тренды: 1 — линейный; 2 — параболический

Линейный тренд показывает снижение максимальных расходов с 1901 по 2019 г. на $12,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Интересно поведение параболического тренда. Он показывает рост МГРВ до середины 50-х гг. прошлого века примерно на $15 \text{ м}^3/\text{с}$, а затем падение более чем на $30 \text{ м}^3/\text{с}$. Следовательно, современные тенденции целесообразно рассматривать с конца 50-х — начала 60-х гг. прошлого века.

Проверка ряда МГРВ реки Инструч была выполнена в соответствии с требованиями нормативного документа⁷ с помощью Mathcad-программ, описанных в [20].

Проверку однородности ряда выполним по двум критериям: Фишера и Стьюдента. Разбиваем ряд на две части: $n_1 = 48$ (по 1956 г.), $n_2 = n - n_1$. Нулевая гипотеза 1: математические ожидания двух частей ряда равны. Значение параметра для проверки гипотезы о равенстве средних расходов:

$$T = \frac{|Qs_1 - Qs_2|}{S} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, \quad S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)sQ_1^2 + (n_2 - 1)sQ_2^2}{n - 2}}, \quad (1)$$

где Qs_1, Qs_2 — точечная оценка меньшего и большего СКО соответственно.

Нулевая гипотеза 2: дисперсии двух частей ряда равны. Параметр критерия Фишера:

$$\Phi = (sQ_2 / sQ_1)^2. \quad (2)$$

Выдвигаем гипотезу, что ряд МГРВ реки Инструч подчиняется трехпараметрическому гамма-распределению (Крицкого — Менкеля) с плотностью вероятности

⁷ СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: одобрен для применения в качестве нормативного документа Постановлением Госстроя России № 218 от 26 дек. 2003 г.

$$f(k) = \frac{1}{b \cdot \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{\alpha/b} k^{\alpha/b-1} \exp \left[- \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} k \right)^{1/b} \right], \quad (3)$$

где $k_i = Q_i / Q_s$ — модульный коэффициент расхода; Γ — гамма-функция; α , b — параметры распределения, определяемые путем решения системы уравнений (4), (5) из [21]:

$$\lambda_2 + \ln \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right) - \frac{b}{\Gamma(\alpha)} \left(\int_0^\infty t^{\alpha-1} \ln(t) \exp(-t) dt \right) = 0; \quad (4)$$

$$\alpha \cdot \lambda_2 - \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{1/b} \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\ln(k_i) (k_i)^{1/b} \right] \right] + b = 0, \quad (5)$$

где вспомогательный параметр рассчитывается по формуле

$$\lambda_2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \ln(k_i). \quad (6)$$

Результаты расчетов и обсуждение

Результаты расчета параметров ряда МГРВ ГПИ (1901—2019): среднее значение $Q_s = 45,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Точечная оценка СКО $sQ = 22,3 \text{ м}^3/\text{с}$; коэффициент вариации ряда $C_v = 0,492$; коэффициент асимметрии $C_s = 0,709$; $C_s / C_v = 1,440$. Оценка коэффициента автокорреляции между смежными членами ряда $r_1 < 0,01$.

Параметры двух частей ряда $Q_{s1} = 46,9 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_{s2} = 44,1 \text{ м}^3/\text{с}$; $sQ_1 = 15,94 \text{ м}^3/\text{с}$; $sQ_2 = 26,18 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_{v1} = 0,340$; $C_{v2} = 0,594$. Значение параметра для проверки гипотезы о равенстве средних значений, рассчитанное по формуле (1), $T = 0,664$ меньше критического значения Стьюдента при уровне значимости 0,05. Параметр критерия Фишера по формуле (2) $\Phi = 2,70$. Это много больше критического значения, даже с учетом поправок [22]. Заметим, что в рассматриваемых условиях эти поправки невелики, так как значение r_1 близко к нулю. Гипотезу о равенстве дисперсий следует отвергнуть. Следовательно, нужно строить распределение для неоднородного ряда в соответствии с рекомендациями [22].

Вначале построим распределение в предположении, что ряд однородный. Значение вспомогательного параметра по формуле (6) $\lambda_{20} = -0,1302$. Решение системы уравнений (4), (5), полученное численным методом: $\alpha_0 = 3,223$; $b_0 = 0,8886$. Тогда плотность распределения (3) примет следующий вид:

$$f_0(k) = 18,70k^{2,627} \exp(-2,788k)^{1,125}. \quad (7)$$

Функция распределения

$$F_0(k) = \int_0^k f_0(t) dt. \quad (8)$$

Теоретическая кривая обеспеченности

$$P_0(Q) = 100(1 - F_0(Q / Q_s)). \quad (9)$$

На рис. 4 показаны эмпирические значения вероятности превышения МГРВ реки Инстроч, рассчитанные по формуле, предписанной СП 33-101-2003: $P_i = i / (n + 1)$, где i — порядковый номер по убыванию. Теоретическая кривая построена по формулам (7)—(9), в предположении, что ряд однородный. Заметно отклонение точек от кривой при обеспеченности МГРВ ниже 20 %.

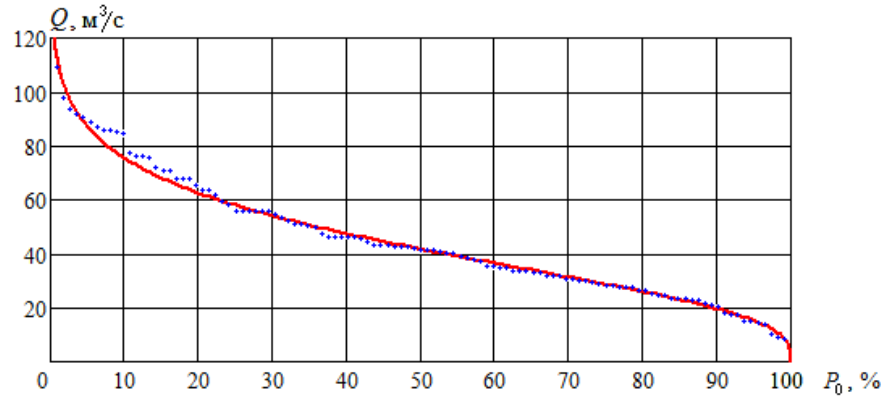


Рис. 4. Кривая обеспеченности МГРВ реки Инстроч: точки — эмпирическая, линия — теоретическая, в предположении однородности ряда

Согласно рекомендациям [22], для неоднородного ряда теоретическая кривая обеспеченности формируется как составная. В нашем случае

$$P(Q) = (n_1 P_1(Q) + n_2 P_2(Q)) / (n_1 + n_2). \quad (10)$$

Параметры для каждой однородной части ряда $P_1(Q)$ и $P_2(Q)$ были найдены с помощью ранее разработанной компьютерной программы [20]: $\lambda_{21} = -0,0575$; $\alpha_1 = 17,09$; $b_1 = 1,401$; $\lambda_{22} = -0,1865$; $\alpha_2 = 5,690$; $b_2 = 1,456$.

При проектировании гидротехнических сооружений в первую очередь интерес представляют МГРВ с вероятностью превышения ниже 10 %. Именно этот диапазон показан на рис. 5.

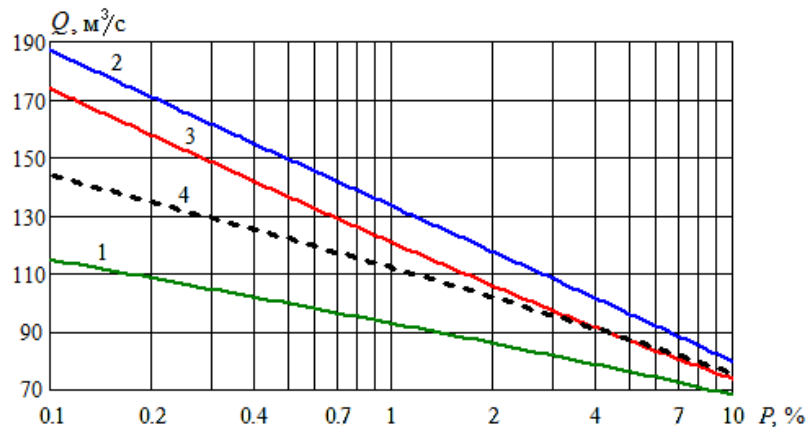


Рис. 5. Теоретические кривые обеспеченности МГРВ реки Инстроч: 1 — первой части ряда 1901—1956 гг.; 2 — 1967—2019 гг.; 3 — составная по (10); 4 — по формуле (9)

Полученная теоретическая кривая использовалась для расчета МГРВ заданной обеспеченности, для чего численным методом решалось уравнение относительно Q_p :

$$100(1 - F(Q_p / Q_s)) = P. \quad (11)$$

Для сравнения была найдена погрешность

$$\varepsilon(Q) = (1 - P(Q) / P_0(Q))100, \quad (12)$$

где $P_0(Q)$ — зависимость, найденная по всему ряду как однородному.

Результаты расчета по уравнению (11) представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Расчетные значения МГРВ реки Инстроч (Ульяново)

№ пп	P, %	Q _p , м ³ /с		ε, %
		Без учета неоднородности ряда	С учетом неоднородности ряда	
1	0,01	173,6	228,1	31,4
2	0,1	144,0	173,7	20,7
3	0,5	121,9	136,5	12,0
4	1	112,0	120,8	7,91
5	3	95,4	97,1	1,78
6	5	87,2	86,8	-0,48
7	10	75,4	73,6	-2,42

Поверочный расчет МГРВ для ГТС первого класса ($P = 0,01$ %), выполненный по аналитической зависимости без учета неоднородности, дает значение $Q_p = 173,6$ м³/с, а с учетом — $Q_p = 228,1$ м³/с, что больше на 31,4 %. Понятно, что такая погрешность недопустима. Расчеты МГРВ обеспеченностью 3 % и выше можно выполнять без учета неоднородности ряда.

Заключение

Таким образом, разделение рядов максимальных годовых расходов реки Инстроч по признакам половодье — паводки не представляется возможным. Был сформирован единый ряд максимальных годовых расходов за период 1901—2019 гг. Проверка выполнения требований нормативных документов показала достаточность его длины и неоднородность. Получено составное аналитическое выражение плотности трехпараметрического гамма-распределения (Крицкого — Менкеля), что позволило определить расчетные значения максимальных годовых расходов реки Инстроч заданной обеспеченности. Недопустимо пренебрегать неоднородностью при расчете расходов с малой обеспеченностью, так как погрешность может превысить 30 %. Расчеты максимальных годовых расходов с обеспеченностью 3 % и выше можно выполнять без учета неоднородности ряда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ahmad I., Fawad M., Akbar M., Abbas A. Regional Frequency Analysis of Annual Peak Flows in Pakistan Using Linear Combination of Order Statistics // Polish Journal of Environmental Studies. 2016. Vol. 25. Iss. 6. Pp. 2255—2264. DOI: 10.15244/pjoes/63782.
2. Asquith W. H., Kiang J. E., Cohn T. A. Application of at-site peak-streamflow frequency analyses for very low annual exceedance probabilities : U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2017. 93 p.

3. Guidelines for determining flood flow frequency — Bulletin 17C / J. F. Jr. England, T. A. Cohn, B. A. Faber et al. // U.S. Geological Survey Techniques and Methods. Book 4. Chap. B5. 2018. 148 p.
4. *Ryberg K. R., Goree B. B., Williams-Sether T., Mason R. R. Jr.* The U.S. Geological Survey Peak-Flow File Data Verification Project, 2008-16 // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2017. 61 p.
5. *Унагаева Н. А.* Сибирский город и река. Особенности рекреационного водопользования в Красноярске // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 276—290.
6. *Матовников С. А.* Комплексное благоустройство прибрежных территорий: тенденции и проблемы // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 325—334.
7. *Янковская Ю. С.* Город и река. Перспективы и концепции развития // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 405—417.
8. *Горошкова Н. И.* Вероятность превышения наибольших годовых расходов воды рек западной части трассы БАМ // Исследования формирования речного стока и его расчеты : межведомств. сб. Л. : ЛПИ им. М. И. Калинина, 1981. С. 22—34.
9. *Tiwari H., Rai S., Sharma N., Kumar D.* Computational approaches for annual maximum river flow series // Ain Shams Engineering Journal. 2017. Vol. 8. Iss. 1. Pp. 51—58.
10. *Гарцман Б. И., Губарева Т. С., Кичигина Н. В.* Возможности оценки обеспеченности максимальных расходов рек Приангарья (на примере реки Ия) // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2. Вып. 4. С. 347—364.
11. *Bogatinoska B.* Hydrological and Hydraulic Analysis of River Crossings // 15th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, 2017. Pp. 9—18.
12. *Whitehead M. T., Ostheimer C. J.* Hydrologic and hydraulic analyses of the Grand River, Red Cedar River, and Sycamore Creek near Lansing, Michigan : U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2020. 2021. 17 p. DOI: 10.3133/SIR20205144.
13. *Wiatkowski M., Gruss E.* Hydrological and hydraulic analysis of a small lowland watercourse flow capacity and its functioning in the region of Silesian Lowlands in the context of rainfall water management // Annals of Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation. 2017. Vol. 49. Iss. 3. Pp. 153—156.
14. *Наумов В. А., Ахмедова Н. Р.* Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи : моногр. Калининград : Изд-во КГТУ, 2017. 183 с.
15. *Герасимова А. А., Нелюбина Е. А.* Внутригодовое распределение стока реки Инстроч // Материалы VII Междунар. Балтийского морского форума, г. Калининград, 7—12 окт. 2019 г. Калининград : Изд-во БГА, 2019. С. 320—325.
16. *Нелюбина Е. А.* Некоторые особенности формирования расходов весеннего половодья 2008—2015 годов на реке Инстроч // Развитие инженерно-технических методов природообустройства и водопользования : сб. науч. тр. Калининград : Изд-во КГТУ, 2018. С. 69—75.
17. *Нелюбина Е. А., Шамонина Т. В.* Особенности формирования высоких расходов воды в холодное время года // Материалы VI Междунар. Балтийского морского форума, Калининград, 3—6 сент. 2018 г. Калининград : Изд-во БГА, 2018. С. 376—384.
18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 4. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В. Е. Водогрецкого. Л. : Гидрометеиздат, 1969. 508 с.
19. Гидрологический ежегодник 1964 г. Т. 1. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Д. И. Абрайтене. Вып. 5, 6. Л. : Гидрометеиздат, 1966. 264 с.
20. *Наумов В. А.* Методы обработки гидрологической информации // Вестн. учеб.-метод. об-ния по образованию в обл. природообустройства и водопользования. 2015. № 7. С. 144—150.
21. *Рождественский А. В., Чеботарев А. И.* Статистические методы в гидрологии. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 424 с.
22. *Рождественский А. В., Лобанов В. А., Лобанова А. Г.* Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. СПб. : Нестор-История, 2010. 162 с.

© Ахмедова Н. Р., Наумов В. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Ахмедова Н. Р., Наумов В. А. Анализ ряда максимальных годовых расходов воды реки Инстрuch (1901—2019) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 170—179.

Об авторах:

Ахмедова Наталья Равиловна — канд. биол. наук, доц. каф. техносферной безопасности и природообустройства, Калининградский государственный технический университет. Российская Федерация, 236022, Калининград, Советский пр-т, 1; isfendi@mail.ru

Наумов Владимир Аркадьевич — д-р техн. наук, проф., проф. каф. техносферной безопасности и природообустройства, Калининградский государственный технический университет. Российская Федерация, 236022, Калининград, Советский пр-т, 1; van-old@mail.ru

Natalia R. Akhmedova, Vladimir A. Naumov

Kaliningrad State Technical University

ANALYSIS OF A SERIES OF MAXIMUM ANNUAL WATER DISCHARGE OF THE INSTRUCH RIVER (1901—2019)

The work was supported by the Russian Science Foundation and the Government of the Kaliningrad region within the framework of the scientific project No. 22-27-20016

The paper presents the results of studying the maximum annual discharges of the Instruch river. The initial data were the observational data of the Ulyanovo hydrological station (Kaliningrad region). An earlier analysis showed the impossibility of separating the series according to the signs of flood-water-flood. A single series of maximum annual expenditures for the period 1901—2019 was formed, checking the compliance with the requirements of regulatory documents showed its uniformity in dispersion. A composite analytical expression for the three-parameter gamma distribution (Kritsky — Menkel) is obtained. The calculated values of the maximum annual discharges of the Instruch River with a given probability of exceeding the given probability are determined. It has been established that it is unacceptable to neglect heterogeneity when calculating expenses with low security, since the error can exceed 30 %.

Key words: Instruch river, maximum annual water discharges, high water, floods, excess probability, theoretical curve, calculations.

For citation:

Akhmedova N. R., Naumov V. A. [Analysis of a series of maximum annual water discharge of the Instruch river (1901—2019)]. *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. 4, pp. 170—179.

About authors:

Natalia R. Akhmedova — Candidate of Biological Sciences, Kaliningrad State Technical University. 1, Sovetsky Ave., Kaliningrad, 236022, Russian Federation; isfendi@mail.ru

Vladimir A. Naumov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kaliningrad State Technical University. 1, Sovetsky Ave., Kaliningrad, 236022, Russian Federation; van-old@mail.ru

УДК 712.25 +72.092

А. О. Ехаева, В. С. Волков

Волгоградский государственный технический университет

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ
ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МАЛЫХ ГОРОДОВ
НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Статья посвящена современным подходам к формированию прибрежных территорий малых городов на примере городских поселений Волгоградской области. В ходе исследования были изучены проекты набережных, которые победили на всероссийских конкурсах и реализуются в данный момент либо уже реализованы.

В исследовании проведен предварительный проектный анализ городских набережных. Данные теоретические положения легли в основу разработанной авторами общей концепции благоустройства городских набережных в Волгограде и Волгоградской области.

К л ю ч е в ы е с л о в а: набережная, художественный образ, прибрежные территории.

Любая набережная является важнейшим элементом в формировании архитектурного ансамбля центра города и речного фасада города.

Современное состояние территории набережной в Калаче-на-Дону не соответствует ее градостроительному значению. В настоящее время это малоблагоустроенное пространство, расположенное между защитной дамбой и урезом воды. Имеющееся пляжное оборудование немногочисленно и находится в плохом состоянии, отсутствует освещение, зеленые насаждения не ухожены, много сорной растительности, сами подходы к воде и пляжной зоне не оборудованы. Кроме того, на проектируемой территории расположены капитальные здания ряда организаций. На нижних отметках у основания дамбы имеется несколько самовольно поставленных металлических гаражей — эллингов для лодок и катеров, выглядящих весьма неприглядно [1].

В ходе предпроектного анализа территории были выявлены следующие социально-экономические, градостроительные и архитектурно-художественные проблемы:

- не организованы различные виды досуга для отдельных групп населения;
- отсутствует пространство для реализации разнообразных общественных инициатив;
- не используется ландшафтный потенциал территории, прилегающей к крупному водоему, имеющей значительную площадь озеленения и живописное природное окружение;
- не завершено формирование системы городских пешеходных коммуникаций, отсутствуют условия для ММГН, отсутствует организация движения для велосипедистов;
- слабо используется экономический потенциал территории, способной стать источником дополнительных доходов в городской бюджет, что, в свою очередь, позволит создать новые рабочие места, а также повысит кадастровую стоимость прилегающих объектов недвижимости;

• градостроительный ансамбль городской набережной не сформирован, отсутствуют элементы индивидуальности и идентичности города, отражающие его исторические, культурные и природно-климатические особенности.

Вместе с тем наряду с выявленными проблемами важно отметить и описать преимущества, которые получит город в случае реализации данного проекта [1, 2].

При реализации проекта можно рассчитывать на достижение следующих социальных и экономических результатов:

• уменьшение оттока населения (особенно молодежи) за счет создания комфортной городской среды, не уступающей современным образцам ландшафтной архитектуры и стимулирующей особый «городской» образ жизни;

• улучшение общего душевного, морального и физического состояния горожан за счет предоставления им возможности реализации различных видов рекреационной и оздоровительной деятельности;

• укрепление патриотических традиций за счет формирования архитектурно-художественного образа, отражающего «дух места» и несущего в себе элементы исторической, культурной и географической идентичности;

• обеспечение условий для позитивного межнационального и межкультурного общения за счет организации пространства для реализации активностей различных городских сообществ;

• повышение индекса удовлетворенности жителей города качеством городской среды, рост рейтинга города;

• обеспечение условий для развития предпринимательства, увеличения числа рабочих мест и роста поступлений в городской бюджет.

Описывая проблемы и преимущества от их разрешения в реализации данного проекта, необходимо отметить значимость самого места с точки зрения историко-культурной и природной составляющей.

Территория проектирования является чрезвычайно ценной и значимой в градостроительном и социально-экономическом отношении, что подтверждается следующими аргументами:

1. Территория набережной непосредственно участвует в формировании ансамбля городского центра. Это главное звено в экологическом каркасе города.

2. Территория имеет удобную пешеходную и транспортную доступность. В зону пешеходной доступности попадают индивидуальная и многоэтажная жилая застройка, социальные и производственные объекты. В 20-минутной зоне пешеходной доступности проживают и работают более 2,5 тыс. чел., в 30-минутной зоне — свыше 8 тыс. чел.

3. Территория обеспечена необходимыми транспортными и инженерными коммуникациями.

4. Территория обладает мощным рекреационным потенциалом. Это практически единственный участок донского берега, имеющий достаточную площадь для реализации широкого спектра досуговых и культурных мероприятий. На участке имеется значительное число деревьев и кустарников. Скорость течения в этой части берега относительно низкая, что позволяет использовать его для купания. Дополнительную привлекательность данному месту придают живописные ландшафты правого берега реки Дон, создающие

особое настроение, отраженное в народном названии этой прекрасной реки, — Тихий Дон.

5. В непосредственной близости от проектируемой набережной располагается крупный природный ландшафтный объект — протока Гусиха, имеющий значительный рекреационный потенциал.

6. В ходе общественного обсуждения более 97,9 % горожан проголосовали за благоустройство центральной набережной.

7. На территории, прилегающей к проектируемой набережной, и в других общественных пространствах города регулярно проводятся значимые районные и городские мероприятия, на каждом из которых присутствует до 10 тыс. гостей и жителей города.

Главным аргументом в пользу выбора именно этой территории является тот факт, что указанная территория является единственным крупным участком береговой линии, где есть возможность организовать комфортное и безопасное общественное пространство для взаимодействия города с рекой — центральную городскую набережную.

Волгоградская область активно использует возможности национальных, федеральных, партийных проектов, целевых госпрограмм для решения поставленной задачи по благоустройству населенных пунктов вне зависимости от числа жителей и удаленности от Волгограда. С 2014 г. выполнено уже свыше тысячи таких проектов, еще около 200 завершатся до конца декабря. Победителями всероссийского конкурса с момента его старта становились Фролово, Михайловка, Урюпинск, Палласовка, Петров Вал, Николаевск.

В текущем году многомиллионные гранты выиграли Жирновск и Калач-на-Дону. Минстрой РФ включил Волгоградскую область в число лидеров по формированию комфортной городской среды, лучшие муниципальные практики дополнили федеральный реестр.

Рассмотрим примеры осуществляющихся проектов набережных.

1. Петровская набережная, г. Калач-на-Дону

Город Калач-на-Дону располагается на левом берегу реки Дон в начале акватории Цимлянского водохранилища. Противоположный высокий правый берег относится к ландшафтному району Восточно-Донской гряды — степной возвышенной геологической провинции, расположенной в Большой излучине Дона. Ступенчатые донские склоны гряды очень крутые, изрезанные густой овражно-балочной сетью. По оврагам и балкам произрастают леса естественного происхождения, так называемые байрачные леса (широколиственные леса, растущие по дну, склонам берегов и балок (байраков)) [3].

Прибрежная территория, в которую входит участок набережной, имеет значительные размеры: набережная — 8,6 га, протока Гусиха — 69 га. С этой точки зрения можно рассматривать проектируемую набережную как своеобразную «точку роста», благоустройство которой позволит запустить процесс формирования нового, более крупного и интересного общественного пространства. Участок, выбранный для проектирования, имеет крайне сложную геометрическую конфигурацию: длина участка около 1700 м, средняя ширина — 20...40 м. Значительную часть участка занимает защитная дамба, построенная в начале 1950-х гг. для защиты территории города от наводнений и подтоплений, ставших возможными после заполнения Цимлянского водохранилища. Высота дамбы колеблется в пределах 3...4 м, уклон откосов

варьируется в пределах 15...25 град. Ширина верхнего уреза дамбы составляет 5...6 м.

Проектируемая общественная территория центральной набережной трактуется как корабельные палубы некоего условного корабля, корабля-фантазии, корабля-мечты, что предполагает формирование многофункциональной среды, создающей у посетителей впечатление путешествия на комфортабельном круизном лайнере. Путешествия неспешного, позволяющего отдыхать, играть и общаться с детьми, заниматься спортом и рыбной ловлей, купаться и загорать, любоваться пейзажами и проплывающими мимо судами, наслаждаться вкусной едой, по вечерам слушать концерты, по ночам смотреть на звезды (рис. 1).



Рис. 1. Центральный пляж

Образы и элементы корабельной архитектуры органично включаются в художественный язык проекта. Пространственные и пластические решения отдельных зон и фрагментов, дизайнерские решения оборудования и малых архитектурных форм, обеспечивая физиологический и психологический комфорт посетителей, исподволь, деликатно и осторожно формируют у них позитивные ощущения — ощущения предвкушения счастья и радости от самого процесса путешествия.

Архитектурная композиция строится на представлении художественных образов в виде четкой пространственной и функциональной структуры прибрежной территории. Осью композиции являются автомобильный проезд и пешеходный тротуар, проложенные по верхнему урезу дамбы. На них нанизаны отдельные функциональные зоны, как отсеки корабля (рис. 2, 3). Сходство с корабельными палубами усиливается за счет использования разных уровней рельефа для размещения прогулочных тропинок, площадок для отдыха и оборудования, малых архитектурных форм. С этой же целью используется покрытие отдельных поверхностей специально обработанной палубной доской — декингом, устойчивой к различным видам агрессивных воздействий [2].



Рис. 2. Семейная зона



Рис. 3. Фестивальная зона

2. Парк «Торгун», г. Палласовка

В проекте предлагается деликатное и незначительное редактирование рельефа с сохранением части естественной растительности — камыша.

Чтобы подчеркнуть бережное и тактичное отношение к природе, в проекте предусмотрено устройство деревянного настила, приподнятого над уровнем земли, — «камышовой тропы», образующей прогулочный маршрут по прибрежной территории. В конце камышовой тропы предполагается устройство нескольких домиков для уток, которые с ранней весны до поздней осени обитают в акватории пруда Бульбин [2].

Пляжная зона выполнена в форме настила, установленного на понтоны, что обеспечивает удобство эксплуатации и композиционную связь с прогулочной зоной. В завершении этой части набережной расположена лодочная станция, где предполагается устройство эллинга для хранения сдаваемых в прокат лодок и катамаранов.

В парке реализована сложная структура пешеходных коммуникаций. Проектировщикам пришлось принять как данность существующую трассировку главной аллеи, а также активный пешеходный транзит по кратчайшему диагональному направлению от юго-восточного угла парка к пешеходному мосту (рис. 4).

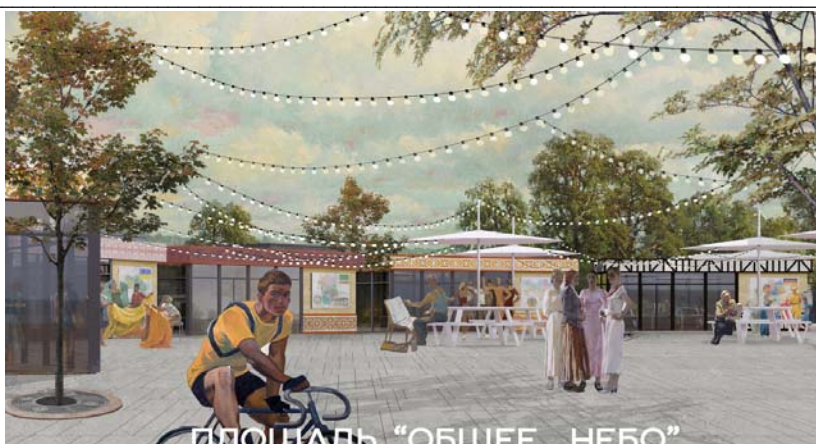


Рис. 4. Площадь «Общее небо»

В проекте предусмотрена незначительная корректировка этих направлений и разбивка в восточной части дополнительных пешеходных аллей, поддерживающих исходную планировочную структуру. В западной части парка, где пешеходные дорожки с твердым покрытием практически отсутствуют, в соответствии с концепцией проекта предложена сложная по конфигурации система из плавно изогнутых дорожек и тропинок, формирующих своеобразный ландшафтный орнамент, заполняемый различными видами зеленых насаждений.

Архитектурная концепция проекта опирается на особенности географического положения города (зона полупустыни на границе двух континентов — Европы и Азии) и учет климатических характеристик: резко континентальный засушливый климат до $+45^{\circ}\text{C}$ летом и до -50°C зимой; малое количество осадков, засоленные почвы. Проектируемая общественная территория (парк + набережная + привокзальная площадь) трактуется как «оазис в пустыне», что предполагает формирование многофункциональной мультисенсорной среды, компенсирующей негативные климатические факторы, обеспечивающей физиологический и психологический комфорт посетителей (рис. 5).



Рис. 5. Интерактивная зона «Бархан»

Архитектурная композиция строится на идее соприкосновения и взаимодействия двух цивилизаций: Востока и Запада. Правая часть парка, примыкающая к Дому культуры, которая имеет в настоящее время относительно устойчивую сформированную дорожно-тропиночную структуру, символизирует регулярную планировку европейских парковых ансамблей; в левой, малоосвоенной части парка организуется ландшафтная композиция с использованием плавных изогнутых форм и декоративных насаждений, пластика которых ассоциируется с узорами восточных ковров.

Существенное внимание в проекте уделено организации набережной на южном берегу пруда Бульбин, где в соответствии с общей архитектурной концепцией реализованы два принципиально разных подхода. С правой стороны от пешеходного моста предполагается проведение берегоукрепительных работ и установка балюстрады, что продиктовано уже имеющимся оформлением северного берега, на котором, помимо балюстрады, устроен широкий спуск, обращенный в сторону Дома культуры. В этой ситуации проектировщики были обязаны поддержать уже реализованное решение. Для того чтобы усилить выразительность формируемой композиции и подчеркнуть «классический» характер архитектурного ансамбля центральной городской площади, было принято решение об установке малой архитектурной формы — ротонды, замыкающей композиционную ось, идущую от главного фасада Дома культуры. Данный объект, который предполагается использовать как фотозону для новобрачных, получил активную поддержку в ходе общественного обсуждения.

Часть набережной, расположенная слева от пешеходного моста, решена в принципиально ином, пейзажном стиле. Учитывая, что эта часть берега расположена существенно ниже к уровню воды и может подтапливаться в весенний период, было принято решение не устанавливать в этой части берега сплошные бетонные или каменные конструкции (рис. 6).



Рис. 6. Зона созерцания «Ближе к воде»

3. Ландшафтный комплекс «Белый берег», г. Николаевск

«Белый берег» представляет собой благоустроенное пространство набережной протяженностью более 1000 м, состоящее из двух террас. Здесь

присутствуют такие объекты для комфортного отдыха николаевцев, как сухой фонтан, амфитеатр, универсальная спортплощадка, которая в весенне-летний период может использоваться для игры в волейбол, а зимой трансформироваться в ледовый каток. Проектом также предусмотрены скейт-парк, молодежная и детская площадки, велосипедная дорожка, удобная парковая мебель с навесами для создания тени, парковые диваны [2].

Свыше 70...90 % составляет готовность объектов, создаваемых в четырех городах Волгоградской области — победителях всероссийского конкурса благоустройства, который ежегодно проводится в рамках нацпроекта «Жилье и городская среда». Самый высокий темп работ демонстрирует Николаевск, где строят новую набережную «Белый берег».

В рамках создания многофункционального комплекса на набережной Николаевска установлены современные светильники, пространство оборудовано видеорекамерами. В следующем году начнется этап озеленения территории комплекса, будут установлены точки по продаже еды и пункты проката спортивного инвентаря.

Проект «Белый берег» в прошлом году стал победителем IV Всероссийского конкурса в рамках национального проекта «Жилье и городская среда». Его идея появилась после того, как сделали берегоукрепление. Парк будет в двух уровнях. На берегу обустроят зоны отдыха для детей, молодежи и людей старшего возраста. Здесь будут велосипедные дорожки, фонтан, качели, кафе и сцена. Горожане смогут прогуляться, отдохнуть, поучаствовать в различных мероприятиях, заняться спортом, взять в прокат ролики и велосипеды. Сейчас подрядчик обустривает велосипедные и пешеходные дорожки, прокладывает кабели для системы освещения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребцова Т. А. Калач-на-Дону. Волгоград : Нижневож. кн. изд-во, 1986.
2. Карпенко А. Г., Потокина Т. М. Актуальные проблемы эстетики в архитектуре // Изв. Ереван. гос. ун-та архитектуры и стр-ва. 2011. Т. 2. № S24. С. 70—72.
3. Зайцев М. И. Калач-на-Дону. Исторический очерк. Сталинград : Сталингр. кн. изд-во, 1960.

© Ехаева А. О., Волков В. С., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Ехаева А. О., Волков В. С. Современные подходы к формированию прибрежных территорий малых городов на примере городских поселений Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 180—188.

Об авторах:

Ехаева Анастасия Олеговна — ассистент каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Волков Владимир Степанович — доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Anastasia O. Yekhaeva, Vladimir S. Volkov

Volgograd State Technical University

**MODERN APPROACHES TO THE FORMATION
OF COASTAL TERRITORIES OF SMALL TOWNS
ON THE EXAMPLE OF URBAN SETTLEMENTS OF THE VOLGOGRAD REGION**

The article is devoted to modern approaches to the formation of coastal territories of small towns on the example of urban settlements of the Volgograd region. In the course of the study, the projects of embankments that have won All-Russian competitions and which are being implemented at the moment or have already been implemented were studied.

The study carried out a preliminary design analysis of urban embankments. These theoretical provisions formed the basis of the general concept of improvement of urban embankments in Volgograd and the Volgograd region developed by the authors.

Key words: embankment, artistic image, coastal territories.

For citation:

Yekhaeva A. O., Volkov V. S. [Modern approaches to the formation of coastal territories of small towns on the example of urban settlements 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. 4, pp. 180—188.

About authors:

Anastasia O. Yekhaeva — Assistant of Design and Monumental and Decorative Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation

Vladimir S. Volkov — Docent of Design and Monumental and Decorative Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation

УДК 712+711.41:502

Н. В. Иванова, С. А. Морковина

Волгоградский государственный технический университет

АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕЛЕННОГО КОЛЬЦА ВОКРУГ ВОЛГОГРАДА

Статья посвящена изучению современного направления проектирования архитектурно-ландшафтных рекреационных объектов в пригородах крупных городов. Представлен анализ зарубежного и отечественного опыта проектирования зон отдыха. Определен комплекс факторов, влияющих на формирование комфортной среды отдыха, восполнения физических и душевных сил населения на территории зеленого кольца вокруг Волгограда. Проведено экспериментальное проектирование объектов рекреаций на территории зеленого кольца.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Волгоград, зеленое кольцо, объекты рекреации, экостроительство.

Необходимость восстановления зеленого кольца вокруг Волгограда активно обсуждается последнее время ученым сообществом, заинтересованными жителями города. Известно, что лесопарковые зеленые пояса становятся природными «легкими» урбанизированной застройки. За счет применения оптимального ассортимента деревьев и кустарников наблюдается эффективное улучшение окружающей среды и эстетическое обогащение степных ландшафтов, а использование в озеленении плодовых сортов деревьев, виноградников направлено на обеспечение населения продовольствием. Еще одним важным аспектом повышения уровня комфортности жизнедеятельности людей может стать развитие рекреационных зон, обеспечивающих жителей и гостей города полноценным отдыхом в живописных участках территории зеленого кольца.

Своевременность решения нового вида отдыха, поиска расширения типологии архитектурных объектов рекреаций определяется современными тенденциями развития туризма внутри страны. Актуальной становится разработка основных архитектурных, экологических подходов к проектированию экотурбаз, их обустройству и оборудованию современными формами малой архитектуры на территории зеленого кольца вокруг Волгограда. В связи с этим становится необходимым изучение современного направления проектирования архитектурно-ландшафтных объектов отдыха в природных и рукотворных пригородных участках крупного города.

Предпроектный анализ разработки архитектуры зданий рекреаций может опираться на опыт отечественных и иностранных типологических особенностей объемов отдыха; выявление факторов, влияющих на формирование комфортных мест для посещения и проживания горожан и гостей города.

Необходимым становится изучение социально-исторического и экологического факторов развития полос озеленения при организации рекреационной деятельности на территории зеленого кольца вокруг Волгограда. Проведение же экспериментального проектирования направлено на создание эскизов нового строительства объектов отдыха в рукотворном ландшафте пригорода.

При выполнении работы изучались научные публикации и нормативные акты, посвященные проектированию градозэкологического зеленого каркаса города [1—3] и его влиянию на формирование комфортных условий жизнедеятельности населения. Выполнение санитарно-гигиенических функций зеленых посадок исследователи связывают с природно-климатическими факторами и сложными географическими условиями расположения Сталинграда (голая степь, малый запас зеленых насаждений, сильные сухие ветры с пылью), действие которых плохо отражалось на здоровье населения [4—7]. История развития ландшафтного искусства показывает, что состояние городских условий значительно улучшилось при выполнении комплексной программы научного регулирования природы в СССР — так называемого сталинского плана по преобразованию природы и созданию зеленого кольца [3, 8—11].

Значительную роль в формировании комфортной городской среды авторы отводят озеленению пригородных зон [12]. Большие надежды возлагаются на зеленые насаждения, выполняющие санитарно-гигиеническую функцию (смягчение климата, уменьшение городского информационного шума), что благотворно влияет на психоэмоциональное состояние человека, повышает физические и умственные способности [13—15].

В настоящее время значительно расширился спрос на лечебно-оздоровительные услуги в связи с ухудшением демографической обстановки и ситуацией с COVID-19 (реабилитация пациентов, перенесших заболевание) [16]. В поисках решений озеленения города и опираясь на Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ (ред. от 30.12.2021 г.), который преследует цель реализовать права граждан на благоприятную окружающую среду, было предложено решение: реконструкция зеленого кольца и проектирование в наиболее живописных местах экоотеля. Типологические особенности экоотеля решают предыдущие задачи, их развитие направлено в будущее, так как внедрение экологизации гостиничных предприятий способствует повышению туристической привлекательности места [17—20]. Это перспективные отели, которые предназначены поддерживать состояние природной среды, воспитывать в обществе экологическое сознание и ответственность, а их постояльцы при этом могут получить здоровый отдых в гармонии с природой [20, 21].

История создания зеленого кольца

Сталинград в середине 1930-х гг. окружала степь, в городе было мало зеленых насаждений, летний период года сопровождался сильными суховеями с пылью. Такая природная обстановка не способствовала развитию растительности и плохо отражалась на здоровье жителей.

Единственным решением задачи по оздоровлению экологических условий в городе, расположенном в зоне полупустынь, было увеличение площади зеленых насаждений. Для этого предполагалось окружить город широкой и сплошной лесной полосой шириной 3...6 км и общей протяженностью более 60 км. Особенностью строительства полос явилось чередование участков лесных культур с плодовыми садами. Подобная структура посадок создала базу по снабжению населения города фруктами и виноградом. В магазины Волгограда только в 1965 г. поступило около 2000 т свежих фруктов и ягод, а в 1966 г. — около 1500 т.

Построенное до начала Великой Отечественной войны, зеленое кольцо успешно выполняло свои функции: закрепление оврагов при помощи лесных посадок; задержание снеговых и дождевых вод с целью орошения; формирование системы мелких прудов; правильная организация степных территорий; снижение скорости ветра, задержка пыльных бурь; также посадки значительно оживили монотонный вид степей, дали приют птицам и животным.

За время боев под Сталинградом многие полосы были уничтожены или сильно повреждены (парковые посадки на Мамаевом кургане, виноградники, частично — культуры сосны). После ВОВ защитные посадки так и не были восстановлены в полном объеме.

Исследования современного состояния видового и качественного состава насаждений посадок подтвердили их несоответствие градостроительным, санитарно-гигиеническим и эстетическим требованиям. Оценка по уровню декоративности указывает, что насаждения отличаются низкой декоративностью, структура полос представляет собой разорванные, разъединенные отрезки озелененных линий [9, 13].

В настоящее время исследователями и учеными ИАиС ВолгГТУ предлагается ряд направлений и мероприятий по восстановлению утраченной целостности лесозащитных насаждений зеленого кольца с учетом природно-климатических условий, ландшафтно-градостроительной ситуации и техногенной нагрузки [13—15].

Значение зеленого кольца для экологической защиты, озеленения территории и отдыха

Многие авторы продолжают всесторонне изучать действие пригородных насаждений на качество среды обитания и уровень здоровья населения (удовлетворение физических, психологических и социальных потребностей) и на снижение смертности людей. Так, ученые связывают высокий уровень ожирения детей дошкольного возраста в малообеспеченных семьях в Нью-Йорке с недостаточным количеством зеленых насаждений для отдыха и активностей на участках с посадками; отмечается снижение стресса у людей при наличии зеленых насаждений в жилой среде, частоте и продолжительности прогулок, что положительно влияет на психическое здоровье личности [21]. Недаром Кэтлин Л. Вольф отмечала, что потребители связывают наличие городских лесов с более высоким рейтингом визуального качества города.

В настоящее время актуальными стали вопросы поиска дополнительных возможностей общения с природными элементами, которое может состояться в праздничные дни отдыха и время отпусков. Подобную возможность предоставляет населению развитие экотуризма, который способствует восстановлению физических и духовных сил в условиях бережливого отношения к экологии и культуре посещаемого региона страны, чтобы сохранить окружающую среду для будущих поколений.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (ред. от 30.12.2021 г.) преследует цель реализовать права граждан на благоприятную окружающую среду. Восстановление зеленого кольца приводит в исполнение эту задачу. Есть возможность использовать зеленое кольцо как рекреационную систему отдыха. Согласно закону, на территории зеленого щита могут располагаться объекты, связанные с занятием спортом, здравоохранением и туризмом (санаторно-курортные, медицинские, рекреационные

объекты). Здесь также могут располагаться и объекты экологического туризма. Экотуризм — это природный туризм, который включает изучение окружающей природной среды и служит для ее улучшения, так как в основе эко-туризма лежит забота об окружающей среде.

В настоящее время в Европе и США построено большое количество экологических отелей, которые отвечают всем этим требованиям. Среди самых известных: Sunwing Resort Kallithea (Греция, о. Родос), Jardim Atlantico (Португалия, о. Мадейра), Coworth Park (Великобритания), Lodgeat Sun Ranch (США, штат Монтана), Proximity Hotel (США, штат Северная Каролина), Orchard Garden (США, Сан-Франциско) и др. (рис. 1).



Рис. 1. Экоотель Jardim Atlantico, Португалия

Все эти отели считаются экологическими, так как при строительстве и эксплуатации были соблюдены все критерии и пройдена международная сертификация соответствия определенным стандартам для оценки показателей объекта недвижимости на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

В нашей стране много примеров успешной реализации экотуризма, например турбаза «Притяжение» в Бурятии на озере Байкал. При строительстве турбазы на о. Байкал компания решила отказаться от подключения коммуникаций к магистральным сетям. Отель полностью автономный: электроэнергию вырабатывает генератор бесплотинной ГЭС, отопление осуществляется с помощью высокопроизводительных печей на твердом топливе, водозабор ведется из горной реки, система канализации разделяет отходы жизнедеятельности на воду, пригодную для технических нужд, и сухой брикетированный остаток, который будет вывозиться совместно с другими. Можно также привести в пример экоотель «Романов лес» в Костромской области (рис. 2). Охраняемая территория комплекса занимает около 22 га, на которых находятся 24 коттеджа трех категорий из рубленого северного леса, ресторан, культурно-развлекательный центр, SPA-центр, банный комплекс, сауна, гриль-бар, спортплощадка и две охраняемые автостоянки. Цель — обеспечение отдыха в экологически привлекательной природной среде, создание рекреационной природной зоны.



Рис. 2. Экоотель «Романов лес», Костромская область

Экспериментальное проектирование рекреационных объектов на территории зеленого кольца вокруг Волгограда

Развитие реакционной деятельности на территории зеленого кольца дает большие возможности по приобщению горожан к экотуризму. Проектное предложение заключается в создании симбиоза функций: восстановление экологии и климата, реализация потребности населения в общении с природой, восстановление природного потенциала города и сохранение уникальной флоры и фауны. Ландшафт турбазы будет включать в себя восстановленные полосы посадок — чередование участков лесных культур, защитных полос с плодовыми садами и виноградниками. Преимущество имеют адаптированные посадки с учетом эстетических особенностей внешнего вида растений: дуб, ясень, вяз мелколистный, тополь, белая акация; сопутствующие плодовые сорта — груша, абрикос, клен татарский, яблоня, вишня; кустарниковые — тамарикс, ива, смородина золотистая, акация желтая. Это позволит снабжать отель собственными экологически чистыми овощами и фруктами (рис. 3).



Рис. 3. Смешанные посадки зеленого кольца

В архитектурно-объемном проектировании планируется использование экологичных строительных и отделочных материалов, среди которых предпочтение отдается дереву, камню или кирпичу (не рекомендуется использовать

асбест, линолеум, древесно-стружечные и древесно-волоконистые плиты (ДСП, ДВП), цинковые белила и растворители красок, содержащие бензол и толуол) (рис. 4, 5).



Рис. 4. Проектное предложение гостиницы, С. А. Морковина, 2022 г.



Рис. 5. Входная часть гостиницы, С. А. Морковина, 2022 г.

Территория зеленого кольца позволяет разместить объекты рекреации на достаточно большом расстоянии друг от друга и создать еще большую атмосферу единения с природой, куда органично вписываются дома для туристов

и обслуживающего персонала, бани, дорожки для прогулок, места для проведения пикников на свежем воздухе и другие малые формы архитектуры.

Проведенное исследование показывает, что восстановление зеленого кольца и создание на его основе рекреационной зоны становятся важной эколого-социальной задачей. Она выступает как ресурс для внедрения и укрепления инновационных технологий, развития внутреннего туризма — России в целом и нашей области в частности. Выполнение предложенных мероприятий, несомненно, повысит качественный уровень жизни и привлекательности природного ландшафта вокруг Волгограда.

Выводы

Создание зеленого кольца вокруг Сталинграда — Волгограда послужило улучшению природно-климатических и экологических условий жизни населения города. В настоящее время возникла настоятельная необходимость восстановления целостности зеленого кольца и формирования зон отдыха на его основе (экотуризм, туристические базы).

Изучение типологических особенностей проектирования объектов отдыха показывает, что это направление архитектурно-градостроительной деятельности постоянно развивается (экономические, экологические и социальные предпосылки). Горожане массово выезжают за город, на природу, знакомятся с региональными достопримечательностями ландшафтов, в связи с чем экоотели становятся перспективными объектами полноценного отдыха в пригородных зонах.

Важнейшими факторами, влияющими на комфорт среды проживания и отдыха посетителей, стали: удаленность от города (городского шума), развитие транспортной инфраструктуры (удобные автобусные и автомобильные связи); разработки ландшафтной архитектуры, сочетающие самобытность природных участков, рукотворных посадок и комфорт города; широкий спектр услуг общения с природой и здоровый образ жизни (пешие, велосипедные и другие прогулки, активные формы отдыха).

Экспериментальное проектирование нового строительства зон отдыха на территории рукотворного озеленения вокруг Волгограда должно учитывать природно-климатические особенности региона (жаркий климат и сильные сухие ветры), что находит отражение в требованиях пожарной безопасности, применении огнестойких материалов, использовании определенной цветовой гаммы в колористике объектов и архитектурных форм, способных снизить нагрев поверхностей и экономить на охлаждении, а также в размещении солнечных батарей и дополнительном озеленении южных стен построек.

Восстановление зеленого кольца и формирование экобаз раскрывают новые возможности для создания комфортных условий жизнедеятельности гостей и жителей и организации территорий современного отдыха на природе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Tang Bo-sin, Wai Wong Siu, King-wah Lee Anton.* Green belt in a compact city: A zone for conservation or transition? // *Landscape and Urban Planning.* 2007. Vol. 79. Iss. 3—4. Pp. 358—373.
2. *Amati M., Yokohar M.* Temporal changes and local variations in the functions of London's green belt // *Landscape and Urban Planning.* 2006. Vol. 75. Iss. 1—2. Pp. 125—142.
3. *Митусова Н. А., Голубничий А. А.* Озеленение городских территорий. Проблемы и решения // *Современные научные исследования и инновации.* 2017. № 1. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/01/77684>.

4. *Кириллов С. Н., Половинкина Ю. С.* Оценка состояния зеленых насаждений общего пользования г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. 2013. № 1(5).
5. *Семенютина А. В., Ноянова Н. Г.* Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журн. 2019. № 6(372). С. 146—159.
6. *Наумова К. А.* Мониторинг формирования зеленого кольца города Сталинграда — Волгограда // XXII регион. конф. молодых ученых Волгогр. обл. Волгоград, 2017. С. 285—287.
7. *Butters C., Cheshmehzangi A.* Cities, Climate and Cooling // *Designing Cooler Cities: Energy, Cooling and Urban Form: The Asian Perspective*, 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-6638-2_2.
8. *Nawei Wu.* An introduction and comparative study of the implementation approaches of Beijing's green belts // *Proceedings of the 8th Conf. Int. Forum Urban*, 2015. DOI: 10.3390/ifou-C006.
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(60). С. 153—166.
10. *Иванова Н. В., Подковыров И. Ю., Сагомоян В. К.* Methodological aspect of landscape and ecological reconstruction of Green ring around Volgograd (Stalingrad) // *International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (International Scientific Conference (ICCATS 2020), Sept. 6—12, 2020, Sochi, Russian Federation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). Publishing IOP, 2020. Vol. 962. DOI: 10.1088/1757-899X/962/1/011001. URL: <http://iccats.org/iccats2020-eng.html>. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/1/011001/meta>.*
11. *Constructing and optimizing ecological network at county and town Scale: The case of Anji County, China / Wenbin Nie, Yan Shi, Martin John Siaw, Fan Yang, Renwu Wu, Xu Wu, Xueyan Zheng, Zhiyi Bao // Ecological Indicators. 2021. Vol. 132.*
12. *Коняшин М. С., Рябинина Н. О.* Климат Волгоградской области и особенности его формирования // *Вопросы степеведения*. 2011.
13. *Стеценко С. Е., Ястребова Н. А.* Градостроительно-территориальная организация городских лесозащитных насаждений // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 274—283.
14. *Riikka Puhakka.* University students' participation in outdoor recreation and the perceived well-being effects of nature // *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2021. Vol. 36.
15. *Батталова Р. Р., Исяньюлова Р. Р., Ишегулова А. С., Талипов Э. Н.* Эколого-дендротерапевтическое влияние лесных насаждений на жителей города Уфы // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2017. № 5(205).
16. *Fagerholm N., Eilola S., Arkin V.* Outdoor recreation and nature's contribution to well-being in a pandemic situation — Case Turku, Finland // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 64.
17. *Послятная Н. В., Кононенко Т. П., Федак В. И.* Экологические отели как современная инновационная концепция в индустрии гостеприимства // *Sciences of Europe*. 2018. № 25-2(25). С. 8—12.
18. *Iman Ibrahim.* Livable Eco-Architecture Masdar city, Arabian Sustainable city // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2016. Vol. 216. Pp. 46—55.
19. *Ma Lan.* Create a harmonious environment together of ecological architecture design method // *Procedia Environmental Sciences*. 2011. Vol. 10. Part B. Pp. 1774—1780.
20. *Печерица Е. В.* Российский опыт применения экологических инноваций в средствах размещения (на примере Северо-Западного федерального округа) // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2013. Т. 9. № 42(231).
21. *Алексеева С. Я., Меньших Д. А., Кудрявцева О. В.* Озеленение как элемент устойчивого городского развития: оценка экономической целесообразности, оценка политики и практические примеры // Вестн. РУДН. Сер. : Агрономия и животноводство. 2016. № 4. С. 51—62.

© *Иванова Н. В., Морковина С. А., 2022*

*Поступила в редакцию
в марте 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Морковина С. А. Архитектурно-ландшафтная организация объектов рекреационной деятельности на территории зеленого кольца вокруг Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 189—197.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. архит., 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

Морковина Софья Андреевна — студентка каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Nina V. Ivanova, Sofya A. Morkovina

Volgograd State Technical University

**ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE ORGANIZATION
OF OBJECTS OF RECREATIONAL ACTIVITIES
ON GREEN RING TERRITORIES AROUND VOLGOGRAD**

The article is devoted to the study of the modern direction of designing the architectural and landscape organization of recreation facilities in the suburbs of large cities. The analysis of foreign and domestic experience in architectural and landscape design of man-made landscapes and recreation areas is presented. A complex of factors influencing the formation of a comfortable recreation environment, replenishment of the physical and mental strength of the population on the territory of the green ring around Volgograd has been determined. An experimental design of recreation facilities on the territory of the green ring was carried out.

К е у w o r d s: Volgograd, green ring, recreation facilities, eco-construction.

For citation:

Ivanova N. V., Morkovina S. A. [Architectural and landscape organization of objects of recreational activities on green ring territories around 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. 4, pp. 189—197.

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

Sofya A. Morkovina — Student, Volgograd State Technical University. 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 66.081.2

Н. А. Меренцов^а, А. В. Персидский^б, А. Б. Голованчиков^а, А. С. Гендлер^а, Д. А. Тезиков^в

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *АО «Федеральный научно-производственный центр „Титан-Баррикады“»*

^в *Волгоградская академия МВД РФ*

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСАДОЧНЫМИ АБСОРБЦИОННЫМИ АППАРАТАМИ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ, РАБОТАЮЩИМИ В РЕЖИМЕ ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых — кандидатов наук МК-1287.2020.8 «Моделирование процессов управления в массообменном экологическом и нефтегазоперерабатывающем оборудовании»

Представлен алгоритм программы автоматического адаптивного управления гидродинамическими режимами работы насадочных абсорбционных колонн, работающих в режиме эмульгирования. Рассмотрены основные преимущества искомого гидродинамического режима и программ автоматического адаптивного управления массообменными системами. Приведены основные преимущества и перспективы подобных систем распознавания и адаптивной гидродинамики в массообменных аппаратах селективной очистки газовых выбросов промышленных предприятий.

Ключевые слова: очистка газовых выбросов, абсорбция газов, массообмен, сорбционные массообменные аппараты, насадочные блоки, гидродинамика, режим турбулизации, режим эмульгирования, система автоматического управления, идентификация технологических параметров.

Массообменные сорбционные системы очистки газовых выбросов являются неотъемлемой частью технологических линий химической, нефтехимической, нефтегазоперерабатывающей, строительной, металлургической, энергетической и смежных отраслей промышленности [1—9]. Процессы сорбции, абсорбции, адсорбции, ионного обмена, хемосорбции, десорбции лежат в основе экологических систем очистки вентиляционных выбросов, санитарной очистки газов промышленных предприятий, процессов водоподготовки, водоотведения и др. [3—9]. Сорбционные процессы позволяют почти полностью извлечь из жидко- и газофазных потоков извлекаемые целевые компоненты. В экологических процессах очистки жидко- и газофазных потоков приходится работать с малыми и сверхмалыми концентрациями улавливаемых веществ, что формирует повышенные требования к качеству работы массообменных систем. Наиболее распространенным типом аппаратов абсорбционной очистки газов являются насадочные колонные аппараты [10—26]. Они обладают рядом существенных преимуществ: высокая эффективность, широкий интервал устойчивой работы, сравнительно низкое гидравлическое сопротивление, простота конструкции, надежность и др. В насадочных блоках массообменных аппаратов могут быть реализованы гидродинамические режимы работы, существенно отличающиеся друг от друга по интенсивности протекающих диффузионных (массообменных) процессов и развиваемой поверхности контакта фаз продуктов массообмена. Наиболее эффективный из спектра гидродинамических режимов — режим эмульгирования, проявляется в узком

диапазоне соотношения расходов жидкости и газа, поэтому на сегодняшний день единственным способом долговременного его удержания является использование систем автоматизированного управления (САУ) процессами абсорбционной очистки газов. Причины эффективности режима эмульгирования — активно развиваемая и обновляемая поверхность контакта фаз, наивысшие показатели интенсивности диффузионных процессов в условиях инверсивного перемешивания продуктов массообмена и активной турбулентной диффузии вихрей потока газовой фазы в поток жидкого абсорбента в каналах насадочного блока, высокие показатели удерживающей способности насадочных блоков по жидкой и газовой фазам [24], возможность сокращения объема насадочного блока для снижения энергетических затрат [там же] и др. Указанные преимущества режима полностью соответствуют акцентированным требованиям, предъявляемым к системам абсорбционной селективной очистки газов промышленных предприятий.

Основным препятствием, не позволяющим типовым САУ долговременно поддерживать режим эмульгирования, является отсутствие методов и математических моделей, содержащих инструменты мгновенной количественной оценки гидродинамического режима работы аппарата. Авторами предложена математическая модель [26], базирующаяся на использовании индекса турбулизации при анализе фильтрационных кривых для мгновенной количественной оценки гидродинамического режима работы насадочных колонн и обнаружения (идентификации) режима эмульгирования.

Также авторами предложен алгоритм автоматизированной идентификации математической модели управления насадочным аппаратом абсорбционной очистки газов, названный автокалибровкой, аналоги которого представлены в работах [25—29]. Этот алгоритм позволяет, проводя в автоматическом режиме серию испытаний массообменной системы в области фильтрационных течений, классифицировать гидродинамические режимы работы, определять и сохранять в энергонезависимой памяти значения коэффициентов, входящих в математическую модель, на основе которой функционирует его САУ, и использовать их для расчета управляющих воздействий при работе массообменного аппарата в технологическом процессе.

Анализ объекта управления

Объектом управления является абсорбционный массообменный аппарат. Он имеет следующие особенности:

1. Малые допустимые конечные концентрации извлекаемого вещества в выходящем потоке газа.
2. Концентрация извлекаемого вещества может меняться во времени из-за влияния процессов, на других стадиях технологического процесса. Типовые массообменные системы абсорбционной очистки газов в силу инерции не в состоянии реагировать на резкие всплески концентрации извлекаемых веществ.
3. Нестационарность условий проведения процесса очистки газов по объемным расходам газовой фазы.
4. Непостоянство объемных и поверхностных свойств насадочных контактных элементов, обусловленное их засорением, износом и прочими факторами.

5. Большая инерционность по каналу управления концентрацией извлекаемого вещества.

В качестве промежуточной выходной величины, имеющей малую инерционность, введем характеристику гидродинамического режима работы массообменного аппарата, отражающую динамику развития турбулентного потока в насадочном блоке массообменного аппарата и развитие турбулентной диффузии в развитых гидродинамических режимах, — индекс турбулизации In_i , на основании которой предлагается идентифицировать нижние и верхние пределы искомых гидродинамических режимов (режима эмульгирования). Более подробно анализ полных фильтрационных кривых и индексов турбулизации рассмотрен в работах [30—32].

Цель управления — интенсификация процессов массообмена при абсорбционной очистке газов в условиях возмущающих воздействий, программное определение и устойчивое поддержание искомых гидродинамических режимов по фактическим значениям величин, измеряемым в ходе технологического процесса.

На рис. 1 представлен анализ процесса сорбционной очистки газовых выбросов как объекта управления.

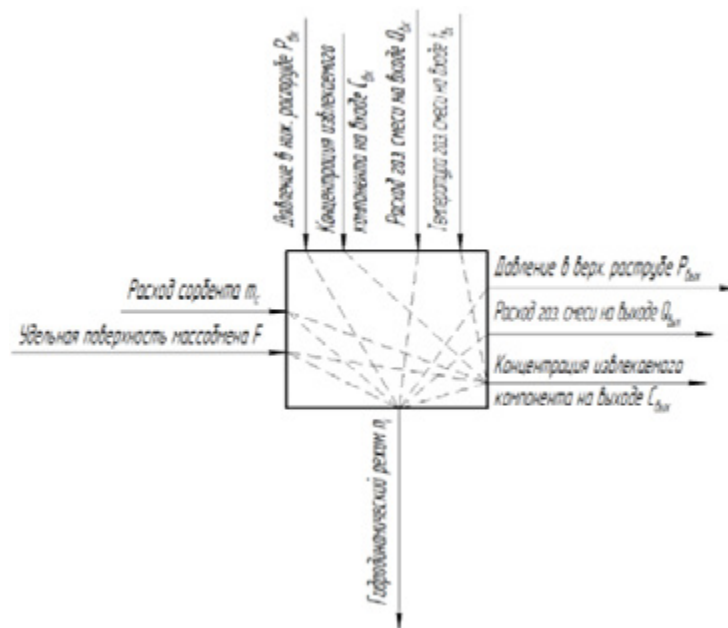


Рис. 1. Процесс сорбционной очистки газовых выбросов в виде объекта управления

Для достижения цели управления предлагается концепция управления массообменными процессами селективной очистки газовых выбросов, состоящая:

1) в выборе в качестве малоинерционной выходной величины показателя, характеризующего динамику развития турбулентного режима течения в насадочном блоке и полученного в ходе изучения опытных данных и анализа смежных фильтрационных кривых течений газовой фазы через насадочный блок при смене режимов орошения;

2) сведение задачи управления концентрацией извлекаемого компонента в выходящем из аппарата потоке газовой фазы к адаптивному управлению гидродинамическими режимами.

Аппроксимируя фильтрационные кривые $\Delta P / H = f(v_{\phi})$ в узких диапазонах скорости фильтрации (расходов сплошной газовой фазы в колонне) (рис. 2), определяются значения коэффициентов $K_{тр}$ и In_i . Полученные значения индексов турбулизации In_i , отражающих градиенты нарастания фильтрационной кривой для ряда интервалов по возрастающей скорости фильтрации, служат показателем меры интенсивности развития составляющей общего градиента давления за счет сил инерции, обусловленных возрастающей турбулизацией потока газа и развивающейся турбулентной диффузией вихрей потока газовой фазы в поток жидкости (жидкого абсорбента), движущейся в каналах массообменного насадочного блока в режимах турбулизации, развитой турбулизации и эмульгирования. Работа массообменной колонны в интенсивных гидродинамических режимах развитой турбулизации и эмульгирования сопровождается существенным ростом удерживающей способности, т. е. жидкость (абсорбент) аккумулируется в массообменном насадочном блоке, что сопровождается всплеском общего градиента давления. Именно в этих режимах наблюдается активизация турбулентной диффузии вихрей потока газовой фазы в поток жидкости, удерживаемой в насадочном блоке, что сопровождается инверсивным перемешиванием продуктов массообмена, резким развитием и обновлением поверхностей контакта фаз, а также интенсификацией тепло- и массообменных процессов. Данные интенсивные режимы представляется возможным отследить и классифицировать по индексам турбулизации In_i , т. е. всплескам инерционных составляющих структур фильтрационных течений (всплескам градиента давления) [30—32], при снятии опытных данных смежных фильтрационных кривых для ряда режимов орошения насадочных блоков массообменных аппаратов (рис. 2).

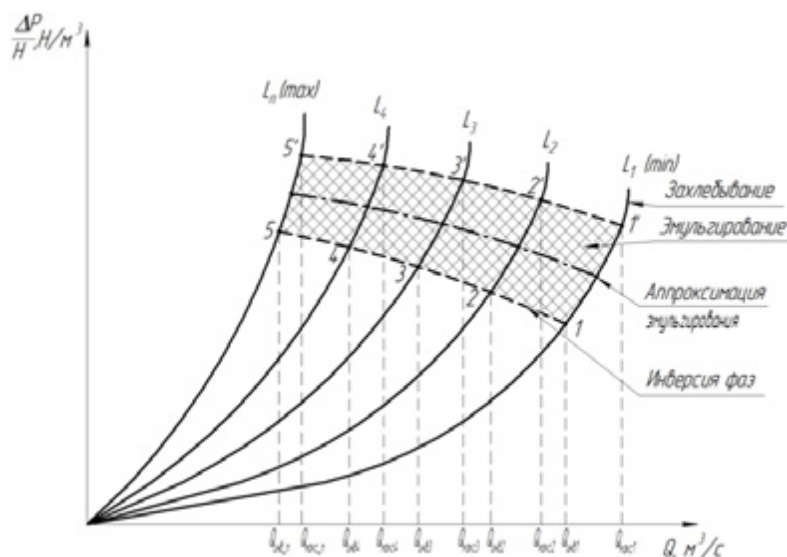


Рис. 2. Графическая интерпретация получения закона управления для режима эмульгирования при анализе смежных фильтрационных кривых на стадии автокалибровки

САУ процессом абсорбционной очистки газов

На рис. 3 представлена схема САУ процесса селективной очистки газовых выбросов с помощью насадочного абсорбционного аппарата.

Программируемый логический контроллер ПЛК выполняет программы автокалибровки и управления, получая информацию с датчиков и посылая управляющие сигналы исполнительным устройствам. Термоанемометрический датчик (расходомер) Д1 измеряет скорость (расход) газового потока в трассе газопровода, датчики Д2 и Д5 измеряют концентрацию извлекаемого компонента во входном и в выходном воздуховодах (патрубках массообменного аппарата) соответственно, а датчики давления Д3 и Д4 определяют гидравлическое сопротивление насадочного блока, регистрируя давление газа над и под насадочным блоком.

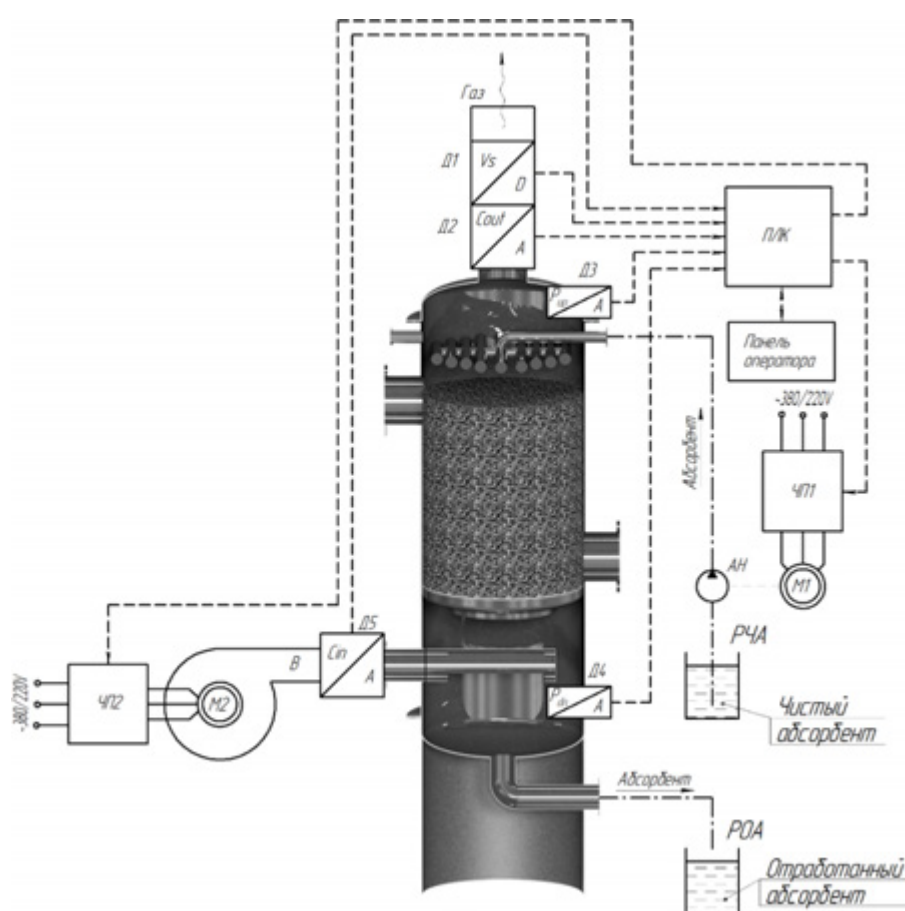


Рис. 3. Схема АСУ насадочным абсорбционным аппаратом селективной очистки газовых выбросов

Частотный преобразователь ЧП1 управляет насосом подачи чистого абсорбента АН из резервуара РЧА, а отработанный абсорбент собирается в резервуаре РОА, откуда отправляется на регенерацию. Для управления расходом газовой фазы служит частотный преобразователь ЧП2, управляющий частотой вращения газового нагнетателя (вихревого турбокомпрессора).

На рис. 4 представлен алгоритм программы автоматического управления абсорбционным аппаратом селективной очистки газов. Его циклическое выполнение обеспечивает реакцию (отклик) аппарата на изменение концентрации извлекаемого компонента во входящем газовом потоке, колебания расхода газовой фазы, а также устойчивое поддержание режима эмульгирования. Выполнение алгоритма начинается с задания оператором целевых показателей работы аппарата: максимально допустимой концентрации извлекаемого компонента в выходящем из аппарата потоке газовой фазы, а также величины минимально допустимого расхода газа через массообменный аппарат. Последний параметр необходим для ограничения поисков режимных диапазонов работы насадочных блоков массообменного аппарата.

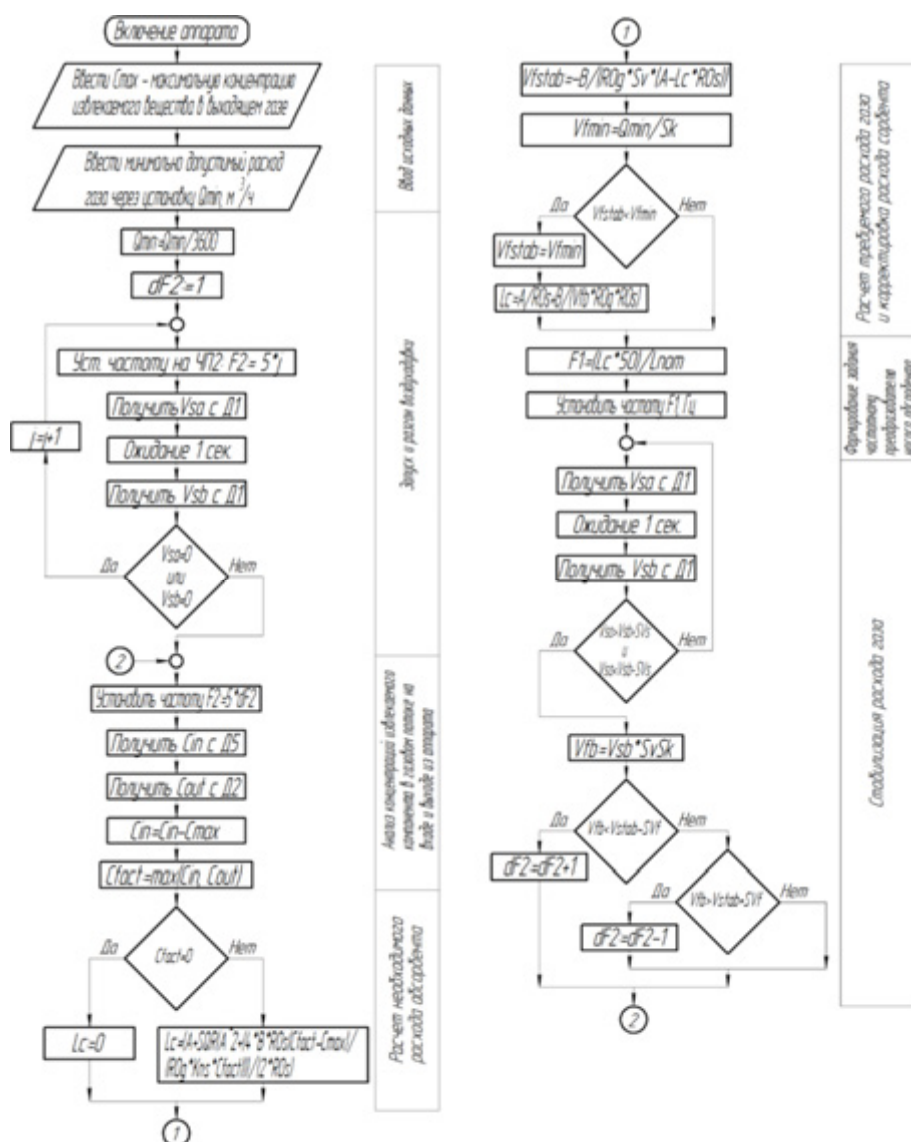


Рис. 4. Алгоритм работы САУ процессом абсорбционной очистки газовых выбросов

На первом этапе программа запускает воздуходувку и постепенно увеличивает ее частоту вращения, пока скорость газового потока по датчику Д1 не станет ненулевой. Это делается с целью обеспечения омывания потоком газовой фазы, содержащим извлекаемый компонент, датчиков концентрации Д3 и Д4.

На следующем этапе программа получает с датчиков Д2 и Д5 значения концентрации извлекаемого компонента в газовом потоке и выбирает из них значение, которое будет использоваться в расчете управляющего воздействия. Затем программа, используя полученное значение концентрации, а также значения величин, определенные в процессе автокалибровки, рассчитывает объемный расход абсорбента, необходимый для снижения концентрации извлекаемого компонента в выходящем газовом потоке до заданной величины, а также частоту питания насоса, подающего поток жидкого абсорбента. Для этого используется основное уравнение предложенной авторами математической модели, которое в обозначениях, принятых в программе, имеет вид

$$Lc = \frac{A + \sqrt{A^2 + \frac{4 \cdot B \cdot ROs (C_{\text{fact}} - C_{\text{max}})}{ROg \cdot Kns \cdot C_{\text{fact}}}}}{2 \cdot ROs}, \quad (1)$$

где A, B – коэффициенты аппроксимации диапазона искомого гидродинамического режима (режима эмульгирования); ROs – плотность абсорбента, $\text{кг}/\text{м}^3$; ROg – средняя плотность газовой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; Kns – коэффициент насыщения абсорбента, отражающий, какая часть извлекаемого компонента должна переходить в абсорбент за единицу времени; C_{max} – максимально допустимая концентрация извлекаемого компонента в выходящем газовом потоке, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_{fact} – фактическое значение концентрации по показаниям датчиков, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Далее программа вычисляет требуемый расход газа при найденном значении расхода абсорбента для устойчивой работы массообменного аппарата в режиме эмульгирования либо реализуется программа адаптации режима орошения насадочных блоков при колебаниях расхода газовой фазы (в зависимости от условий протекания технологических процессов и задачи программы управления). Для этого также используется уравнение математической модели, которое в обозначениях, принятых в программе, имеет вид

$$V_{f \text{ stab}} = \frac{-B}{ROg \cdot S_v (A - Lc \cdot ROs)}, \quad (2)$$

где S_v – площадь поперечного сечения воздуховода в месте установки датчика скорости газового потока, м^2 . Если расход газовой фазы ниже заданного минимально допустимого значения, он устанавливается равным этому значению и пересчитывается подача абсорбента.

Затем программа получает с датчика Д1 значение фактической скорости (расхода) газового потока и рассчитывает частоту питания воздуходувки, которую необходимо обеспечить для ее стабилизации около значения $V_{f \text{ stab}}$.

Следует отметить, что адаптивное управление режимами работы на базе САУ осуществляется при текущем анализе начальных и конечных концентраций улавливаемых веществ (продуктов массообмена) в потоке газовой фазы и жидком абсорбенте.

Заключение

Рассмотренная САУ позволяет поддерживать постоянную работу системы в режиме эмульгирования, при этом реагировать на изменение концентрации извлекаемого компонента в потоке газовой фазы для его эффективно улавливания. Поскольку математическая модель управления гидродинамическими режимами получена из совместного решения уравнения материального баланса и аппроксимирующих зависимостей анализа смежных фильтрационных кривых в искомым режимных диапазонах, таким способом доступно управление в широких режимных диапазонах скоростей фильтрации, так как уравнение материального баланса справедливо для всех гидродинамических режимов работы массообменных насадочных колонн.

В дополнение к рассмотренной САУ следует отметить перспективные направления совершенствования насадочных блоков массообменных аппаратов, а именно применение динамических насадочных элементов [25, 26, 33—36]. За счет проявления динамических свойств насадочных контактных элементов повышается степень взаимного перемешивания продуктов массообмена, развивается вихреобразование и турбулентная диффузия вихрей потока газовой фазы в поток жидкого абсорбента, интенсифицируются тепло- и массообменные процессы, развиваются подвижные поверхности контакта фаз и существенно расширяются режимные диапазоны эффективной работы массообменных колонн [33—36]. Указанные эффекты проявляются в пределах каждого отдельного насадочного элемента и во всем объеме насадочного блока. Развитие данного направления, за счет резкой активизации турбулизации фаз, интенсификации протекающих гидромеханических и диффузионных процессов, способно сделать массообменные системы более компактными, устойчивыми в широких режимных диапазонах, соответственно, менее инерционными и подлежащими более качественной и гибкой автоматизированной идентификации и адаптивному автоматическому управлению.

Таким образом, открывается возможность устойчивого поддержания высокоэффективного гидродинамического режима эмульгирования в насадочных блоках массообменных аппаратов. Также за счет предварительной автокалибровки массообменной системы доступна более детальная классификация гидродинамических режимов работы насадочных блоков массообменных колонн в широких диапазонах расходов жидкой и газовой фаз, создание подклассификаций режимов, обладающих различным соотношением энергозатрат к эффективности (например, на переходный, развитый переходный, ранний турбулентный, турбулентный, развитый турбулентный, инверсивный, раннего эмульгирования, развитого эмульгирования и более детально). Такого рода детализация при анализе фильтрационных кривых и гидродинамических режимов позволяет системам управления удерживать процесс абсорбционной очистки газов в искомым (рабочих) заданных пределах расходов газовых фаз, плотностей орошения $L_{\min} — L_{\text{opt}} — L_{\max}$, что повышает энергоэффективность абсорбционных массообменных систем и способно оказать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимонин А. С., Божко Г. В., Борщев В. Я., Гусев Ю. И. Оборудование нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств : кн. 2 / Под общ. ред. А. С. Тимонина. М. : Инфра-Инженерия, 2019. 476 с.

2. Система централизованного сбора, переработки и утилизации отработанных травильных и гальванических растворов и шламов / Н. А. Меренцов, С. А. Бохан, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, В. А. Балашов // Вестн. ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура. 2018. № 53(72). С. 123—131.
3. Николаева Л. А., Хуснутдинов А. Н. Очистка газовых выбросов предприятий химической промышленности карбонатным шламом // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 8. С. 14—18.
4. Использование техногенных отходов для очистки дымовых газов тепловых устройств от вредных веществ / А. М. Погодаев, А. Ф. Шиманский, Ю. И. Сторожев, Я. В. Казанцев, В. С. Злобин // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 6. С. 4—7.
5. Очистка газовых выбросов от оксидов азота с использованием торфо-щелочного сорбента / В. А. Попова, М. В. Енютина, Л. В. Попова, О. Н. Филимонова, В. И. Корчагин, П. С. Репин // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 3. С. 4—9.
6. Носырев М. А., Комляшев Р. Б., Ильина С. И., Кабанов О. В. Очистка газовых выбросов от диоксида серы на промышленных предприятиях // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 8. С. 24—27.
7. Беккер В. Ф., Киссельман И. Ф., Садырева Ю. А. Разработка эффективных аппаратов для очистки газов // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. 2014. № 7(66). С. 47—50.
8. Беккер В. Ф., Киссельман И. Ф. Очистка промышленных газов в абсорберах с вращающейся подвижной насадкой // Экология и промышленность России. 2010. № 1. С. 18—21.
9. Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев, А. Г. Карасев, А. Б. Голованчиков // Вестн. ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 182—195.
10. Насадки массообменных колонн / Б. А. Сокол и др. ; под ред. Д. А. Баранова. М.: Инфохим, 2009. 358 с.
11. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов / А. М. Каган и др. ; под ред. Лаптева. Казань : Отечество. 2013. 454 с.
12. Дмитриев А. В., Мадышев И. Н., Дмитриева О. С., Николаев А. Н. Исследования диспергирования жидкости и газа в контактных устройствах с увеличенным диапазоном устойчивой работы // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 3. С. 12—15.
13. Мадышев И. Н., Дмитриева О. С., Дмитриев А. В. Перспективы использования струйно-барботажных контактных устройств для повышения энергоэффективности массообменных аппаратов // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 7. С. 36—39.
14. Дмитриев А. В., Макушева О. С., Калимуллин И. Р., Николаев А. Н. Вихревые аппараты для очистки крупнотоннажных газовых выбросов промышленных предприятий // Экология и промышленность России. 2012. № 1. С. 4—7.
15. Laptev A. G., Farakhov T. M., Afanas'ev E. P. Comparative thermohydraulic efficiency of processes in channels with chaotic packing // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2018. Vol. 52. No. 5. Pp. 853—858.
16. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N., Nikolaev A. N. Efficiency of the Contact Stage of a Jet-Film Device During Rectification of Ethylbenzene-Styrene Mixture // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. No. 7-8. Pp. 501—507.
17. Farakhov T. M., Laptev A. G. Modeling of processes of gas cooling by contact with a liquid and updating of column apparatuses // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55. No. 3-4. Pp. 282—289.
18. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N. Optimal Designing of Mass Transfer Apparatuses with Jet-Film Contact Devices // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. No. 7-8. Pp. 430—434.
19. Dmitriev A. V., Madyshev I. N., Dmitrieva O. S. Cleaning of industrial gases from aerosol particles in apparatus with jet-film interaction of phases // Ecology and Industry of Russia. 2018. Vol. 22. No. 6. Pp. 10—14.
20. Laptev A. G., Farakhov T. M. Mathematical model of mass transfer in randomly packed columns with phase maldistribution // Journal of Engineering Thermophysics. 2019. Vol. 28. No. 3. Pp. 392—399.
21. Madyshev I. N., Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N. Study of Fluid Dynamics of Mass-Transfer Apparatuses Having Stream-Bubble Contact Devices // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 52. No. 5-6. Pp. 299—304.

22. Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A. The filtration equation for packing material // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. No. 1-2. Pp. 10—13.
23. Madyshev I. N., Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N. Assessment of Change in Torque of Stream-Bubble Contact Mass Transfer Devices // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51. No. 5-6. Pp. 383—387.
24. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Качанов А. В. Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне, работающей в режиме эмульгирования // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 3. С. 24—29.
25. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Лебедев В. Н. Моделирование процессов управления в экологическом массообменном оборудовании : моногр. Волгоград : ВолГГТУ, 2020. 188 с.
26. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Топилин М. В. Моделирование процессов управления в нефтегазоперерабатывающем массообменном оборудовании : моногр. Волгоград : ВолГГТУ, 2021. 212 с.
27. Меренцов Н. А., Персидский А. В., Лебедев В. Н., Голованчиков А. Б. Автоматическое управление режимами работы насадочных аппаратов селективной очистки газовых выбросов // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 2. С. 10—16.
28. Меренцов Н. А., Персидский А. В., Гендлер А. С., Голованчиков А. Б. Совершенствование систем газоочистки производств стройматериалов за счет новой методики пуска насадочных работ промышленных насадок абсорберов // Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 110—125.
29. Меренцов Н. А., Персидский А. В., Гендлер А. С., Голованчиков А. Б. Адаптивное управление режимами работы насадочных абсорберов систем газоочистки предприятий строительной индустрии // Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 234—253.
30. Структура фильтрационной кривой и способы ее аппроксимации. Часть 2. Верхний предел применения закона Дарси / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков, М. В. Топилин, А. В. Персидский // Вестн. Тамбовского гос. техн. ун-та (Вестн. ТГТУ). 2021. Т. 27. № 2. С. 245—254.
31. Структура фильтрационной кривой и способы ее аппроксимации. Часть 3. Уравнения для аппроксимации фильтрационной кривой / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков, М. В. Топилин, А. В. Персидский // Вестн. Тамбовского гос. техн. ун-та (Вестн. ТГТУ). 2021. Т. 27. № 3. С. 401—414.
32. Оценка интенсивности развития турбулизации в теплообменных насадочных контактных устройствах для селективной очистки газовых выбросов и испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский // Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 245—254.
33. Микуленок И. О. Классификация конструкций массообменных колонн с подвижной насадкой (обзор патентов) / И.О. Микуленок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. № 4. С. 44—47.
34. Носырев М. А., Комляшев Р. Б., Ильина С. И. Расчет гидравлического сопротивления и удерживающей способности в абсорберах с псевдооживленной насадкой // Экология и промышленность России. 2013. № 7. С. 37—41.
35. Носырев М. А., Терпугов Г. В., Ильина С. И., Вешняков А. В. Исследование гидравлики в абсорбционных аппаратах с псевдооживленной насадкой // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 1(130). С. 108—112.
36. Беккер В. Ф., Киссельман И. Ф., Садырева Ю. А. Эффективность очистки абгазов в абсорберах с вращающейся подвижной насадкой // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. 2013. № 4. С. 37—39.

© Меренцов Н. А., Персидский А. В., Голованчиков А. Б., Гендлер А. С., Тезиков Д. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Автоматическое управление насадочными абсорбционными аппаратами селективной очистки газов, работающими в режиме эмульгирования / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, А. Б. Голованчиков, А. С. Гендлер, Д. А. Тезиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 198—208.

Об авторах:

Меренцов Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Персидский Александр Владимирович — инженер-конструктор, АО «ФНПЦ „Титан-Баррикады“». Российская Федерация, 400071, г. Волгоград; a-persidsky@yandex.ru

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; pahp@vstu.ru

Гендлер Александр Сергеевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Тезилов Дмитрий Александрович — старший преподаватель каф. физической подготовки, Волгоградская академия МВД России. Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Историческая, 130; volakdm@va-mvd

Nikolai A. Merentsov^a, Aleksandr V. Persidskiy^b, Aleksandr B. Golovanchikov^a, Aleksandr S. Gendler^a, Dmitry A. Tezиков^c

^a *Volgograd State Technical University*

^b *JSC Federal Scientific and Production Centre "Titan-Barricady"*

^c *Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*

AUTOMATIC CONTROL OF PACKED ABSORBERS FOR SELECTIVE GAS PURIFICATION OPERATING IN THE EMULSIFICATION MODE

The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists - candidates of sciences MK-1287.2020.8 "Modeling of control processes in mass transfer environmental and oil and gas processing equipment"

Algorithm of program of automatic adaptive control of hydrodynamic modes of operation of packed absorption columns operating in emulsification mode is presented. The main advantages of the desired hydrodynamic mode and programs of automatic adaptive control of mass exchange systems are considered. The main advantages and prospects of such recognition systems and adaptive hydro-dynamics in mass exchange devices for selective cleaning of gas emissions of industrial enterprises are presented.

Key words: gas emission cleaning, gas absorption, mass exchange, sorption mass exchange apparatus, packing units, hydrodynamics, turbulization mode, emulsification mode, automatic control system, identification of process parameters.

For citation:

Merentsov N. A., Persidskiy A. V., Golovanchikov A. B., Gendler A. S., Tezиков D. A. [Automatic control of packed absorbers for selective gas purification operating in the emulsification mode]. *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. 4, pp. 198—208.

About authors:

Nikolai A. Merentsov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Aleksandr V. Persidskiy — Design engineer, Titan-Barricady. Volgograd, 400071, Russian Federation; a-persidsky@yandex.ru

Aleksandr B. Golovanchikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; pahp@vstu.ru

Aleksandr S. Gendler — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Dmitry A. Tezиков — Senior Lecturer, Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 130, Istoricheskaya st., Volgograd, 400075, Russian Federation; volakdm@va-mvd

УДК 504.3.054

Д. П. Путятин^а, М. В. Оводков^а, В. Н. Азаров^б

^а ФГБУ «ВНИИ „Экология“»

^б Волгоградский государственный технический университет

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО КВОТИРОВАНИЮ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

В статье предложены способы оценки результатов эксперимента по квотированию выбросов, активная фаза которого началась в 2020 г. на территории 12 пилотных городов: Братска, Красноярска, Липецка, Магнитогорска, Медногорска, Нижнего Тагила, Новокузнецка, Норильска, Омска, Челябинска, Череповца и Читы. Отмечено, что для научно-методического сопровождения эксперимента по квотированию выбросов, работы со сводными расчетами загрязнения атмосферы, расчетного моделирования допустимых вкладов в концентрации и квот выбросов, а также для оценки экологической эффективности воздухоохраных мероприятий на базе ФГБУ «ВНИИ „Экология“» Минприроды России в декабре 2021 г. сформировано специальное подразделение — научно-методический центр экологического моделирования, прогнозирования и оценок (далее — Центр). Представлены ключевые установленные законодательством этапы эксперимента по квотированию, указаны применяемые Центром алгоритмы моделирования полей приземных концентраций, допустимых вкладов в концентрации приоритетных атмосферных загрязнителей в контрольных точках и квот в разрезе источников выбросов. Показано, что эксперимент по квотированию в настоящее время вышел во внешний контур, когда до квотируемых предприятий госрегулятором (Росприроднадзором) официально доведены допустимые вклады в концентрации. Центром проведены проверка корректности рассчитанных предприятиями предложений по квотам выбросов и экспертиза достигнутых в 2021 г. результатов реализации субъектами РФ комплексных планов снижения выбросов. Ведется работа по формированию алгоритма актуализации сводных расчетов. Все работы проводятся в тесном взаимодействии с Проектным офисом федерального проекта «Чистый воздух» и разработчиком программных продуктов для экологов — фирмой «Интеграл», автором программной оболочки для работы со сводными расчетами «Эколог-город» и расчетного модуля «Квотирование выбросов».

К л ю ч е в ы е с л о в а: квоты выбросов, моделирование загрязнения атмосферного воздуха, приоритетные загрязняющие вещества, сводные расчеты загрязнения атмосферы, система квотирования выбросов, целевые показатели снижения выбросов, эксперимент по квотированию выбросов.

Указом Президента Российской Федерации¹ определены национальные цели и стратегические задачи развития Российской Федерации на период до 2024 г., в их числе — создание комфортных условий для проживания населения. В качестве основных целевых показателей Указом предписано уже к 2024 г. обеспечить кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах, в том числе снизить не менее чем на 20 % совокупный объем выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух в наиболее загрязненных городах, а также применять всеми объектами, оказывающими значительное негативное воздействие на окружающую среду, систему экологического регулирования, основанную на использовании наилучших доступных технологий. Для достижения поставленных целей

¹ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г. : указ Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204.

Правительством РФ совместно с органами государственной власти субъектов РФ разработан национальный проект «Экология», включающий в себя 12 федеральных проектов, один из них — «Чистый воздух», реализация которого должна обеспечить кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферы в крупных промышленных центрах, в том числе уменьшить не менее чем на 20 % совокупный объем выбросов в каждом из 12 пилотных городов: Братске, Красноярске, Липецке, Магнитогорске, Медногорске, Нижнем Тагиле, Новокузнецке, Норильске, Омске, Челябинске, Череповце и Чите (далее — территория эксперимента).

Для обеспечения снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории эксперимента с 1 января 2020 г. в соответствии с Федеральным законом № 195-ФЗ² проводится эксперимент по квотированию выбросов, который, с учетом поправок Федерального закона № 71-ФЗ³, планируется завершить 31 декабря 2026 г. Цель эксперимента — апробация на примере указанных пилотных городов системы квотирования выбросов посредством осуществления на территориях эксперимента особого порядка регулирования выбросов на основе сводных расчетов и с учетом целевых показателей снижения выбросов, а также введения для предприятий — участников эксперимента квот на выбросы по приоритетным атмосферным загрязнителям (ПЗВ).

Нормативно-правовой основой эксперимента по квотированию служат Федеральный закон № 195-ФЗ⁴ и Правила квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух, утвержденные приказом Минприроды России № 814⁵. Для содействия проведению эксперимента по квотированию выбросов приказом Минприроды России № 805⁶ создан совещательный орган — Межведомственный совет по проведению эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (далее — Межведомственный совет), который в рамках своей деятельности согласовывает планы мероприятий по достижению квот выбросов, проводит анализ и оценку результатов проведения эксперимента.

Для того чтобы обеспечить единство подходов к организации и функционированию ведомственной системы управления проектной деятельностью

² О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха : федер. закон от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ.

³ О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 26.03.2022 г. № 71-ФЗ.

⁴ О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха : федер. закон от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ.

⁵ Об утверждении правил квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух : приказ Минприроды России от 29.11.2019 г. № 814.

⁶ О межведомственном совете по проведению эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (за исключением радиоактивных веществ) на основании данных сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха : приказ Минприроды России от 27.11.2019 г. № 805.

при реализации федерального проекта «Чистый воздух», а также использовать современные проектно-ориентированные методы управления был сформирован Проектный офис федерального проекта «Чистый воздух». С ноября 2021 г. ФГБУ «ВНИИ „Экология“» (далее — Институт), входящий в структуру Минприроды России, наделен функционалом по научно-методическому сопровождению эксперимента по квотированию, в связи с чем в Институте уже в декабре 2021 г. было сформировано специальное профильное подразделение — *научно-методический центр экологического моделирования, прогнозирования и оценок* (далее — Центр). Штат его укомплектован специалистами в области компьютерного моделирования процессов загрязнения атмосферы от источников различной производительности, конфигурации и компонентного состава выбросов. Сегодня Центр является, по сути, оператором сводных расчетов, для работы с которыми применяются специализированные программные продукты фирмы «Интеграл», позволяющие проводить весь спектр необходимых расчетно-аналитических работ в рамках эксперимента, в том числе:

- моделирование полей приземных концентраций от всей совокупности источников выбросов города при различных сценариях функционирования объектов промышленности и инфраструктуры (промпредприятия, транспорт, автономные источники теплоснабжения (АИТ));
- графическое отображение зон загрязнения атмосферы на картографической основе с применением функционала электронной картографии и ГИС (рис. 1, 2);
- формирование расчетно-обоснованных перечней квотируемых объектов из состава объектов, внесенных в сводный том;
- оценка фактических и допустимых вкладов в концентрации загрязняющих веществ в контрольных точках;
- оценка квот выбросов в привязке к источникам выбросов;
- оценка экологической эффективности воздухоохраных мероприятий по широкому перечню показателей (32 оцениваемых параметра), характеризующих влияние выбросов на территорию города, население и социально-значимые объекты (рис. 3).

Научно-методологические основы моделирования процессов загрязнения атмосферы от техногенных источников выбросов были заложены в рамках развития отечественной Гидрометеослужбы еще в 60-х гг. прошлого века. Экспериментальные исследования по моделированию загрязнения атмосферы проводились применительно к промышленным объектам, расположенным в различных климатических и ландшафтных условиях. В 1980 г. была проведена первая общесоюзная инвентаризация всех промышленных выбросов.

Созданные еще в конце 80-х гг. прошлого века системы управления качеством атмосферного воздуха и нормирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух начали меняться только в последние пять-шесть лет. На смену действующей системе нормирования выбросов пришла стартовавшая 1 января 2020 г. на территориях эксперимента система квотирования выбросов, представляющая собой порядок их регулирования на основе сводных расчетов с учетом целевых показателей снижения выбросов.

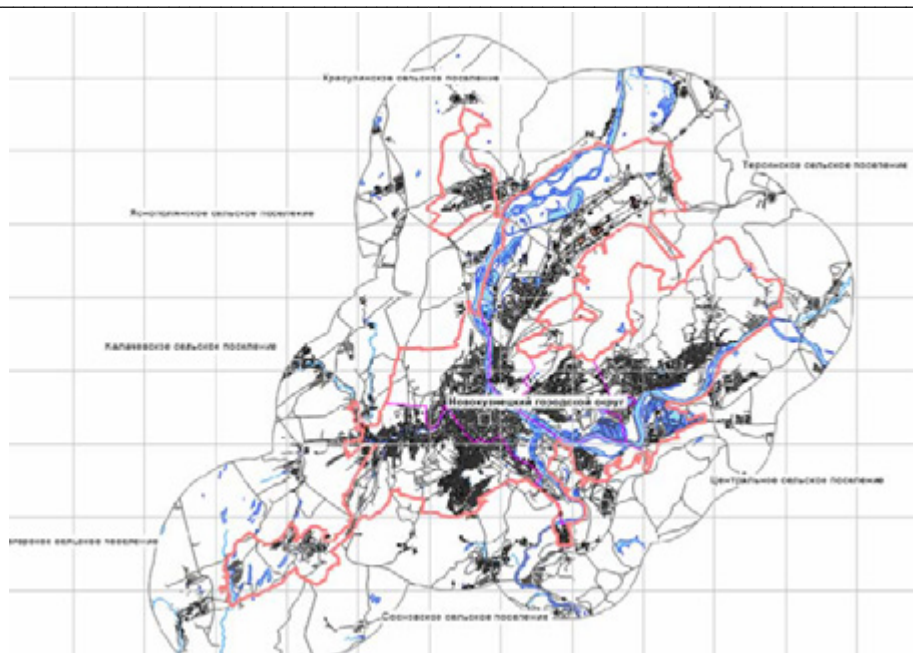


Рис. 1. Графическое отображение адаптированной картографической основы в Унифицированной программе расчета загрязнения атмосферы «Эколог-город» на примере Новокузнецка⁷

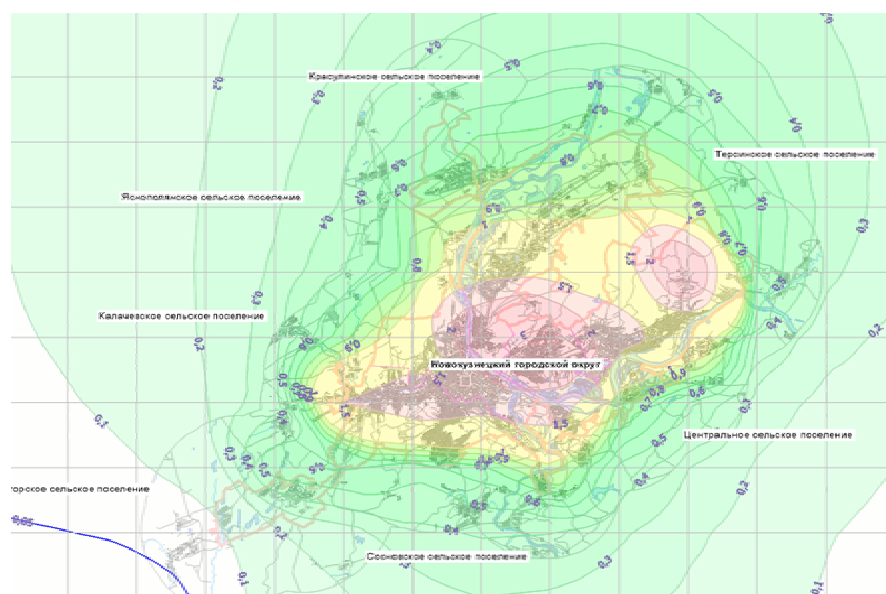


Рис. 2. Моделирование зон загрязнения в Унифицированной программе расчета загрязнения атмосферы «Эколог-город»⁸

⁷ Отчетность Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог-город».

⁸ Там же.

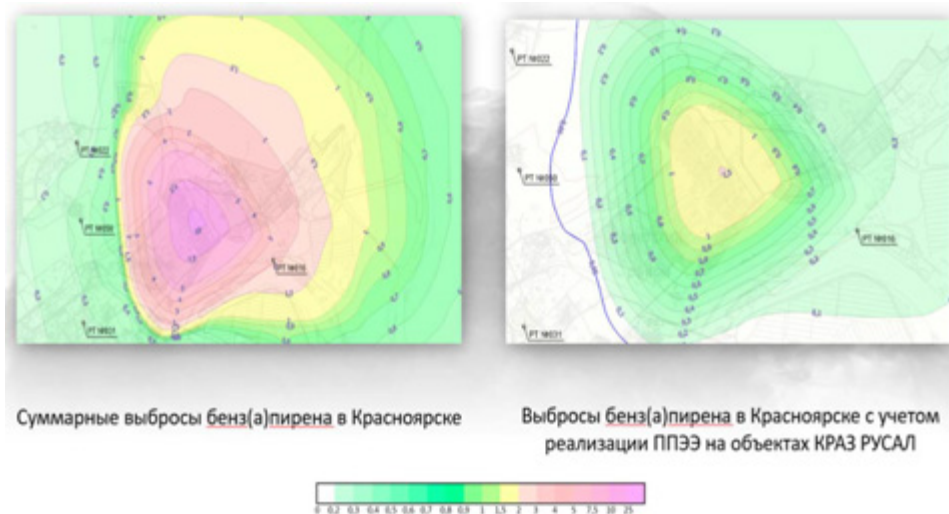


Рис. 3. Оценка эффективности воздухоохраных мероприятий, включенных в комплексные планы⁹

Говоря об эксперименте по квотированию выбросов, необходимо отметить, что столь масштабная экспериментальная апробация методов моделирования загрязнения атмосферы с выходом на конкретные управленческие решения по развитию действующей государственной системы экологического нормирования, контролю за эффективностью исполнения компаниями программ повышения экологической эффективности, обновлению транспортной инфраструктуры и развитию городских территорий в целом проводится в нашей стране впервые. Станет ли созданная система квотирования базовым инструментом регулирования выбросов, зависит от результатов проводимого эксперимента, а правильнее сказать, от реального экологического эффекта, ощутимого жителями пилотных городов.

Основная, на наш взгляд, цель проводимого эксперимента по квотированию — формирование нового объективного и общепонятного инструмента управления качеством атмосферного воздуха в городах и на территориях промышленной активности. Этот инструмент, с одной стороны, позволит федеральным и региональным природоохранным ведомствам достоверно оценивать состояние атмосферы и станет инструментом управления выбросами в городе, с другой — поможет установить легитимные общепонятные правила для устойчивого развития объектов реального сектора экономики, городской инфраструктуры и территорий.

Масштабы проводимого эксперимента характеризуют цифры (табл.). Так, в расчетные модели по 12 городам — участникам эксперимента включено в совокупности 50 тыс. промышленных источников выбросов всех типов и конфигураций, включены выбросы автотранспорта на более чем 3,3 тыс. объектов городской улично-дорожной сети, учтено более 1,6 тыс. автономных источников теплоснабжения.

⁹ Там же.

Основные характеристики эксперимента по квотированию

Город — участник эксперимента	Число промышленных предприятий, учтенных в сводных расчетах	Суммарное число источников по городу	Число приоритетных загрязняющих веществ	Число квотируемых объектов согласно официальным перечням
Братск	134	2113	16	37
Красноярск	989	6411	15	33
Липецк	820	7814	22	37
Магнитогорск	140	4280	23	30
Медногорск	52	522	13	10
Нижний Тагил	240	5358	21	32
Новокузнецк	136	2768	14	26
Норильск	138	2145	11	7
Омск	245	6748	10	145
Челябинск	380	6842	36	71
Череповец	206	3797	16	21
Чита	188	1203	17	38
<i>Всего</i>	3668	50 001		487

В настоящее время перечень пилотных городов эксперимента увеличен на 29 городов, согласно Распоряжению Правительства РФ от 07.07.2022 г. № 1852-р.

Все результаты, как в сводных расчетах, так и в системе квотирования, формируются расчетным путем. Математический аппарат эксперимента основан на работе М. Е. Берлянда (Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха / Под ред. М. Е. Берлянда. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 154 с.), Методах расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе¹⁰ и Правилах проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию¹¹.

Основополагающим источником применяемых сегодня методических подходов к расчетам полей приземных концентраций ЗВ является уравнение турбулентной диффузии примеси в атмосфере (по М. Е. Берлянду):

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} + Q \quad (1)$$

с граничными условиями

$$k_z \frac{\partial q}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, q \Big|_{x^2+y^2+z^2 \rightarrow 0} = 0, \quad (2)$$

где t — время; Q — функция, описывающая действие источника; u — скорость ветра; k_x, k_y, k_z — коэффициенты турбулентной диффузии в направ-

¹⁰ Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе : приказ Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273.

¹¹ Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию : приказ Минприроды России от 29.11.2019 г. № 813.

лении координатных осей, причем ось x выбрана вдоль приземного ветра, а ось z — по вертикали.

При этом в действующих руководящих документах для расчета максимальной приземной концентрации ЗВ применяется формула, представленная в Методах расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе¹².

Максимальная приземная разовая концентрация загрязняющих веществ c_M , мг/м, при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при опасной скорости ветра u_M на расстоянии от источника выброса x_M и определяется по формуле

$$c_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (3)$$

где A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе; M — масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферный воздух в единицу времени (мощность выброса), г/с; F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе; m и n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выброса из устья источника выброса; η — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; H — высота источника выброса, м; V_1 — расход ГВС, определяемый по формуле, м/с; ΔT — разность между температурой выбрасываемой ГВС T_T и температурой атмосферного воздуха T_B , °С.

Важно отметить, что методика МРР-2017 унаследовала основные теоретические положения методики ОНД-86, применявшейся для нормирования выбросов и расчета санитарно-защитной зоны более 27 лет. Дополнения МРР-2017 касаются моделирования долгопериодного осреднения концентраций и стилизации специфических источников выбросов.

Исходными данными для МРР-2017 служат материалы инвентаризации источников выбросов, проведенной в соответствии с методическими материалами:

- Порядок проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки, утвержденный приказом Минприроды России от 19.11.2021 г. № 871¹³;
- Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов

¹² Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе : приказ Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273.

¹³ Порядок проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки : приказ Минприроды России от 19.11.2021 г. № 871.

загрязнения атмосферного воздуха, утвержденная приказом Минприроды Российской от 27.11.2019 г. № 804¹⁴;

- Методика по расчету максимально разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ при сжигании березовых дров, бурого угля Бородинского и Большесырского угольных разрезов, бездымного угля, древесных пеллет и брикетов на бытовых котлах различных типов тепловой мощностью до 100 кВт (в настоящее время проходит согласование).

В соответствии с Федеральным законом «О проведении эксперимента по квотированию выбросов»¹⁵ и с Правилами квотирования¹⁶, эксперимент разбит на следующие основные этапы.

1. Проведение сводных расчетов для каждой территории эксперимента, по результатам которых составляются заключения.

2. На основании сводных расчетов Роспотребнадзор выполняет расчет и оценку риска для здоровья человека, после чего утверждается перечень приоритетных загрязняющих веществ (ПЗВ).

3. Формируются и утверждаются перечни квотируемых объектов для каждой территории эксперимента.

4. Проводится расчет фактических и допустимых вкладов в концентрацию приоритетных загрязняющих веществ для квотируемых объектов в контрольных точках.

5. Госрегулятор официально уведомляет участников эксперимента о рассчитанных для них допустимых вкладах в концентрации ЗВ.

6. На основе полученных уведомлений о допустимых вкладах квотируемые предприятия проводят расчет предложений по квотам выбросов в привязке к источникам и с учетом требования указа Президента РФ о 20%-м снижении выбросов.

7. Госрегулятор (в настоящее время Росприроднадзор) проводит проверку предложений по квотам и принимает решение об утверждении квот либо о мотивированном отказе в утверждении.

8. Квотируемые предприятия разрабатывают планы мероприятий по достижению установленных квот выбросов и направляют их на согласование в Межведомственный совет по проведению эксперимента.

Предусмотрена система разработки и согласования компенсационных мероприятий на случай невозможности достижения квот в установленные сроки.

Следует отметить, что в процессе работы были выявлены превышения по концентрациям ЗВ, которые не входят в перечень приоритетных загрязняющих веществ. И, наоборот, по некоторым веществам, входящим в этот перечень ПЗВ, превышений не было обнаружено по результатам сводных расчетов.

¹⁴ Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха : приказ Минприроды России от 27.11.2019 г. № 804.

¹⁵ О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха : федер. закон от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ.

¹⁶ Об утверждении правил квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух : приказ Минприроды России от 29.11.2019 г. № 814.

С учетом предстоящей актуализации сводных расчетов полагаем важным отработать данный вопрос во взаимодействии с Роспотребнадзором в контексте требований Руководства по оценке риска для здоровья населения¹⁷.

Отдельно остановимся на выработке инструмента оценки эффективности воздухоохраных мероприятий.

Разработана Методика оценки эффективности воздухоохраных мероприятий, включенных в комплексные планы по снижению выбросов ЗВ в атмосферный воздух. Оценка эффективности, согласно данной Методике, производится по трем показателям:

- сокращение площадей городской территории, попадающих в зону загрязнения атмосферы;
- снижение доли населения в зоне сверхнормативного загрязнения атмосферы;
- сокращение числа особо охраняемых и социально значимых объектов, попадающих в зону сверхнормативного загрязнения атмосферы.

Для автоматизированной оценки этих показателей, полученных по результатам выполнения воздухоохраных мероприятий, совместно с Московским государственным институтом геодезии и картографии (МИИГАиК) разработан программный продукт на основе ГИС-технологий (рис. 4, 5).

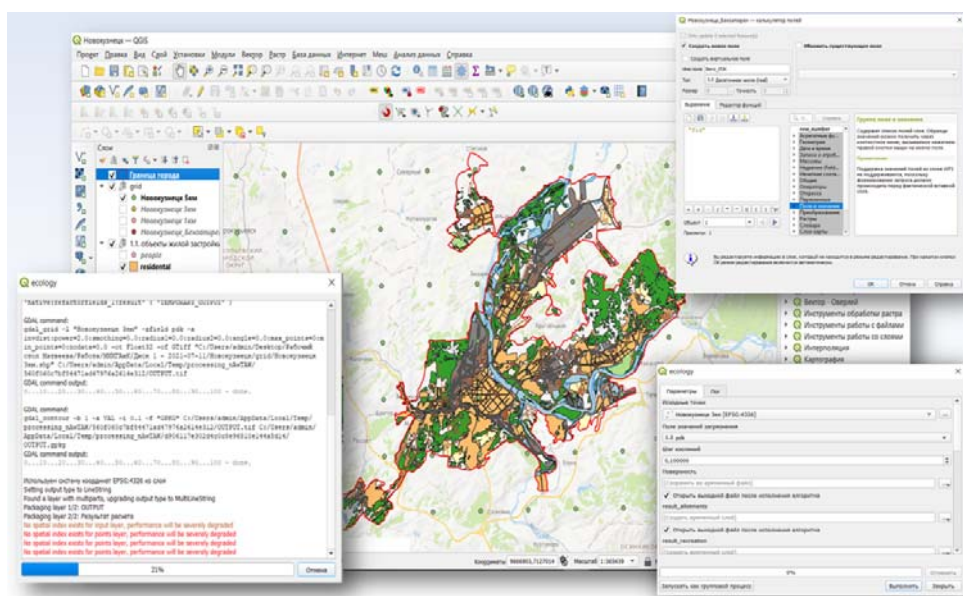


Рис. 4. Функционал программного модуля «Оценка эффективности»¹⁸

¹⁷ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04), утв. 5 марта 2004 г. Первым Заместителем Министра здравоохранения Рос. Федерации, Главным гос. санитарным врачом Рос. Федерации Г. Г. Онищенко.

¹⁸ Программный модуль «Оценка экологической эффективности» на основе ГИС-технологий.

Объекты	Текущий сценарий	Перспективный сценарий	Дельта в количестве между реальным сценарием и перспективным
Площадь территории м ²	229464894	17253975	212210919
Площадь территории км ²	229,465	17,254	282,211
Площадь территории %	53,81	4,05	49,76
Число жителей	439272	59330	379942
Число жителей %	81,87	11,06	70,81
Площадь жилых кварталов м ²	52582732	2292413	50290319
Площадь жилых кварталов км ²	52,583	2,292	50,301
Образовательные организации(ед.)	252	28	224
Образовательные организации %	84,56	9,4	75,16
Больницы(ед.)	62	3	59
Больницы %	91,18	4,41	86,77
Поликлиники(ед.)	62	6	56
Поликлиники %	88,57	8,57	80
Социальное обеспечение(ед.)	10	0	10
Социальное обеспечение	100	0	100

Рис. 5. Пример автоматизированной оценки экологического эффекта программным модулем «Оценка эффективности»¹⁹

На текущем этапе эксперимента Центр решает следующие задачи:

1. Совершенствование методических подходов к оценке экологической эффективности воздухоохраных мероприятий применительно как к отдельному производственному объекту, так и к утвержденным комплексным планам снижения выбросов по городам — участникам эксперимента.

2. Разработка методики по определению числа и координат контрольных точек при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферы. Данная работа запланирована к выполнению во взаимодействии с экспертами и программистами фирмы «Интеграл», поскольку сопряжена с расширением функционала расчетного модуля «Квотирование выбросов».

3. Подготовка плана актуализации сводных расчетов с учетом необходимости уточнения данных о выбросах промышленных предприятий, о структуре и параметрах движения транспортных потоков и реконструкции улично-дорожной сети, а также структуры и видов используемого топлива и типов котлов при работе бытовых отопительных систем в частном жилом секторе.

Задачи 1 и 2 выполняются Центром, в том числе на основании пункта 10 протокола совещания, прошедшего в ноябре 2021 г. у Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации В. В. Абрамченко²⁰.

¹⁹ Там же.

²⁰ О распространении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ на городские поселения и городские округа с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха: протокол совещания у Заместителя Председателя Правительства РФ В. В. Абрамченко от 18 нояб. 2021 г. № ВА-П11-77пр.

По пункту 3 отметим, что требования по актуализации сводных расчетов прописаны в разделе X «Актуализация результатов проведения Сводных расчетов» Правил проведения сводных расчетов²¹. Сводные расчеты подлежат ежегодной актуализации, в связи с чем Центром, совместно с Проектным офисом ФПЧВ, был проведен анализ представленной регионами информации и определен объем работ по натурному обследованию автодорог и жилого сектора. На момент подготовки статьи обследование автодорог проводилось в Челябинске и Магнитогорске. Такие обследования планируется проводить в городах, откуда поступает информация о существенных изменениях структуры автотранспортных потоков и (или) числа АИТ в частном секторе. Проработаны несколько подходов и соответствующие им трудозатраты по актуализации выбросов промпредприятий — от выделения основных вкладчиков в загрязнение до анализа выбросов всех предприятий, включенных в действующие версии сводных томов.

Для актуализации сводных расчетов в части выбросов АИТ разработана Методика по расчету максимально разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ при сжигании березовых дров, бурого угля Бородинского и Большесырского угольных разрезов, бездымного угля, древесных пеллет и брикетов на бытовых котлах различных типов тепловой мощностью до 100 кВт. Методика предназначена для расчета максимальных уровней разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ и в качестве исходных данных использует:

- 1) результаты анкетирования частного сектора территории;
- 2) значения удельных выбросов загрязняющих веществ;
- 3) информацию о расходе топлива;
- 4) данные о длительности отопительного сезона.

Для оценки удельных выбросов совместно с региональной энергетической компанией «КрасЭко» была разработана программа инструментальных измерений, реализованная на экологическом стенде в г. Лесосибирске Красноярского края.

Говоря об основных задачах научно-методического сопровождения эксперимента по квотированию, осуществляемого Центром, важно отметить следующее:

1. Первое и основное — стабилизация посредством сводных расчетов ситуации с превышениями нормативно допустимого уровня загрязнения атмосферы в городах, участвующих в эксперименте.

2. Разработка методологии (концепции технической модели) управления качеством атмосферы посредством сводных расчетов и системы квотирования выбросов.

3. Формирование подходов к тиражированию практики квотирования, апробированной на 12 пилотных городах, к расширенному перечню пилотных городов, а в перспективе — ко всем территориям промышленной активности страны.

4. Формирование на основе сводных расчетов инструмента по развитию городских территорий, в том числе для территориального планирования,

²¹ Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию : приказ Минприроды России от 29.11.2019 г. № 813.

градостроительного зонирования, кадастровой оценки городских земель, интегрированного в нормативное правовое поле федерального и регионального градостроительного и землеустроительного законодательства и с учетом практики функционирования центров управления регионами (ЦУР).

5. Перспективная цель, достижение которой возможно после должной апробации текущих задач эксперимента, — это формирование системы правоотношений, при которой предприятия смогут перераспределять квоты между собой, а у регионов появится стимул к аккумуляции квот с целью формирования потенциала для устойчивого промышленного развития.

Кроме того, результаты научно-методического сопровождения эксперимента по квотированию, выполняемого ФГБУ «ВНИИ „Экология“», позволили выделить следующие проблемы, разрешение которых будет положено в основу формирования соответствующих контрольных точек эксперимента, т. е. маркерных показателей для мониторинга эффективности эксперимента. В качестве таковых проблем ФГБУ «ВНИИ „Экология“» полагает необходимым обозначить следующие:

1) необходимость учета результатов инструментального мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на постах контроля государственной наблюдательной сети при актуализации сводных расчетов;

2) необходимость расчетно-обоснованного формирования перечня квотируемых объектов (перечня предприятий — участников эксперимента);

3) необходимость разработки формализованного порядка актуализации сводных расчетов с описанием очередности и содержания мероприятий по актуализации;

4) необходимость актуализации допустимых вкладов в концентрацию и квот выбросов (по факту проведения актуализации сводных расчетов);

5) необходимость разработки методологии оценки экологической эффективности внедрения технологий НДТ с использованием сводных расчетов.

Несмотря на экспериментальный характер правоотношений в рамках эксперимента, есть надежда, что, следуя примеру компаний «РУСАЛ», «ЕВРАЗ», «Норильский никель», «Сибирская генерирующая компания» (СГК) и др., квотируемые предприятия проявят должную инициативу по своевременному исполнению возложенных на них обязательств по анализу фактических и допустимых вкладов в концентрации загрязняющих веществ, расчету квот на выбросы, оценке воздухоохранной эффективности реализованных и запланированных мероприятий с учетом целевых показателей комплексных планов, а также по своевременному предоставлению изменившихся инвентаризационных данных по выбросам и их источникам для актуализации сводных расчетов.

© *Путятин Д. П., Оводков М. В., Азаров В. Н., 2022*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Путятин Д. П., Оводков М. В., Азаров В. Н. Актуальные задачи эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и подходы к их решению // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 209—221.

Об авторах:

Путятин Даниил Петрович — директор ФГБУ «ВНИИ „Экология“». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4

Оводков Михаил Владимирович — руководитель научно-методического центра экологического моделирования, прогнозирования и оценок, ФГБУ «ВНИИ „Экология“». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4

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

Daniil P. Putyatin^a, Mikhail V. Ovodkov^a, Valerii N. Azarov^b

^a *All-Russian Research Institute Environment*

^b *Volgograd State Technical University*

ACTUAL TASKS OF THE EXPERIMENT ON QUOTAS OF EMISSIONS OF POLLUTANTS AND APPROACHES TO THEIR SOLUTION

The article offers ways to evaluate the results of the experiment on emission quotas, whose active phase began in 2020 on the territory of 12 pilot cities: Bratsk, Krasnoyarsk, Lipetsk, Magnitogorsk, Mednogorsk, Nizhny Tagil, Novokuznetsk, Norilsk, Omsk, Chelyabinsk, Cherepovets and Chita. It was noted that there was formed a specialized division called scientific-methodical center for environmental modelling, forecasting and assessment (hereinafter referred to as the Center), which operates on the basis of the Federal State Budgetary Institution “VNII “Ecology” of the Ministry of Natural Resources of Russia in December 2021 providing scientific and methodical support of the experiment on quota of emissions, working with integrated calculations of air pollution, providing computational modeling of permissible contributions to concentrations and emission quotas, and also assessing the environmental effectiveness of air protection measures. The article presents the key stages established by the legislation of the experiment on quota, specifies the algorithms used by the Center for modelling the fields of ground-level concentrations, allowable contributions to the concentrations of priority air pollutants at control points and quotas for emission sources. It is shown that the experiment on quotas, at present, goes into the external circuit, when the Center develops and communicates to environmental user enterprises and regional executive authorities information on permissible contributions in concentrations. The Center revised the correctness of emission quota proposals calculated by enterprises and carried out an examination of the results achieved in 2021 in the implementation by the constituent entities of the integrated plans of the nature-using enterprises. An algorithm for updating summary calculations is being developed. All works are carried out in close cooperation with the Design Office of the federal project “Clean Air” and the company-developer of software products for ecologists “Integral”, which is the author of the software shell for work with the integrated calculations of “Ecologist-city” and the calculation module “Emission quota”.

Key words: atmospheric air pollution, emission quota system, emission quotas, emission reduction targets, experiment on emission quotas, priority pollutants, summary dispersion calculations.

For citation:

Putyatin D. P., Ovodkov M. V., Azarov V. N. [Actual tasks of the experiment on quotas of emissions of pollutants and approaches to their solution]. *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. 4, pp. 209—221.

About authors:

Daniil P. Putyatin — Director, All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation

Mikhail V. Ovodkov — Head of the Scientific and Methodological Center for Ecological Modeling, Forecasting and Assessments, All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation

Valerii N. Azarov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ptb2006@mail.ru

УДК 624.131.1:624.131.23

О. А. Растяпина, М. А. Матузкова, В. В. Прокопенко, Т. А. Сабитова

Волгоградский государственный технический университет

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОПОСЕЛЕНИЙ
НА ПРИРЕЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ
(НА ПРИМЕРЕ о. САРПИНСКОГО г. ВОЛГОГРАДА)**

Рост и развитие урбанизированной среды приводят к необходимости поиска решений по оптимизации планировочной структуры и территориальному развитию градостроительной системы. Одним из путей решения вопроса по экологизации урбанизированных систем поселений является формирование малых населенных мест в пригородной зоне и зоне, приближенной к урбанизированной среде. Одной из экологических форм поселений является экопоселение. Такая форма поселения становится все более популярной и поэтому требует детального изучения. Необходимо определить требования к формированию экопоселений, а также возможные риски и факторы воздействия на экологию окружающей среды.

Ключевые слова: экопоселение, малые формы населенных мест, планировочная структура, воздействие на окружающую среду.

В соответствии с процессом урбанизации города растут и развиваются. И встает вопрос о необходимости освоения прилегающей территории, так как уплотнение городской застройки не всегда возможно и экологически не целесообразно. Многие городские жители стремятся переселиться на периферию города, с целью улучшения экологических условий проживания [1]. Учитывая влияние урбанизации на человека, все больше людей стремится сменить место жительства или район проживания на более благоприятный в экологическом плане.

Для решения проблемы воздействия урбанизированной среды на человека возникает необходимость в формировании периферийных центров поселений.

Экопоселения — одно из направлений современного освоения территорий, как правило, сельскохозяйственного назначения. На западе формирование экопоселений началось с 1960-х гг., в России первые экопоселения были созданы в 1990-х гг. Российская сеть экопоселений создана в 2005 г.

Экопоселение — это территориально-компактное размещение людей, объединенных едиными жизненными принципами [2, 3]. Основными отличительными характеристиками экопоселения являются развитие сельского хозяйства, бережное отношение к ресурсам, использование альтернативных источников энергии, развитие культурных традиций. Формирование подобных поселений основано на развитии сельскохозяйственной отрасли, перерабатывающей сферы производства, для продукции сельского хозяйства, а также на развитии туристических центров и формировании центров народных традиций [4—7].

Тенденция формирования экопоселений представлена на рис. 1.

Согласно проведенному статистическому анализу по формированию экопоселений (табл. 1), можно сделать вывод о наличии тесной корреляционной связи (0,95) между численностью населения региона и количеством экопоселений (рис. 2), что подтверждает факт и желание людей приобщаться к природе и проживать на экологически благоприятных территориях.

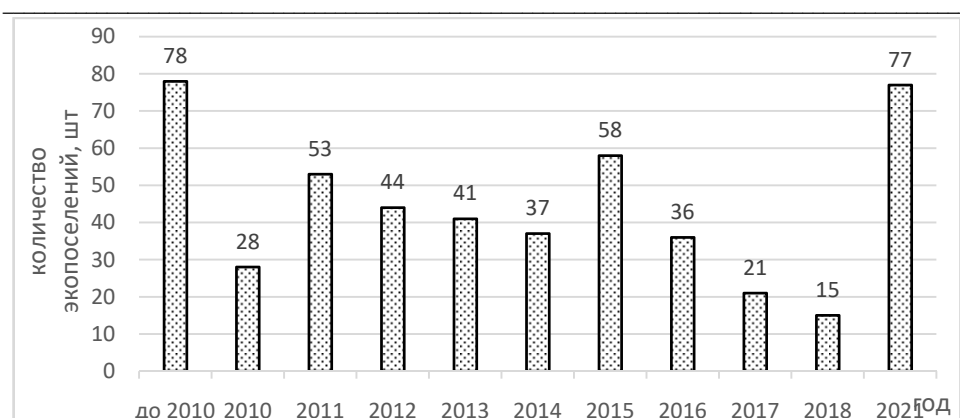


Рис. 1. Количество экопоселений в РФ

Таблица 1

Статистические параметры экопоселений по федеральным округам

Федеральный округ	Площадь, тыс. кв. км	Численность населения округа, 2021 г., тыс. чел.	Количество экопоселков	Плотность населения округа, чел./га
РФ	17 125,2	146 171	411	8,54
ЦФО	650,2	39 251	150	60,37
СЗФО	1687	13 942	26	8,26
ЮФО	447,9	16 482	65	36,80
СКФО	170,4	9967	5	58,49
ПФО	1037	29 071	78	28,03
УФО	1818,5	12 329	34	6,78
СФО	5145	17 004	49	3,30
ДФО	6169,3	8124	4	1,32



Рис. 2. Взаимосвязь количества экопоселений по федеральным округам и численности населения в округе

Основным недостатком сложившихся экопоселений является отсутствие развитой инфраструктуры и слабая транспортная доступность к региональным центрам. Таким образом, для формирования и развития экопоселений необходим детальный территориальный анализ размещения поселения и оценка степени развития инфраструктуры и необходимости ее развития. Не менее важны оценка и прогноз воздействия поселения на окружающую среду. Необходимо прогнозировать вероятное воздействие на окружающую среду, для того чтобы определить мероприятия, как инженерные, так и планировочные, направленные на предотвращение негативного техногенного воздействия, с целью сохранения архитектурно-ландшафтных и природных ценностей территории.

Проведенный анализ территориальных ресурсов Волгограда позволил определить территорию, обладающую природным потенциалом, но требующую проведения комплекса мер по ревитализации данной территории [8, 9].

Остров Сарпинский расположен в Кировском районе Волгограда. Это самый большой речной остров в Европе. В экосистему острова входят животные и растения, занесенные в Красную книгу РФ. Численность жителей острова составляет порядка тысячи человек. Остров Сарпинский отделен от города рекой Волгой [10, 11]. Ситуационная схема расположения острова и транспортные артерии с городом представлены на рис. 3.



Рис. 3. Ситуационная схема расположения острова. Основные пути сообщения с городской территорией

На территории острова выделены следующие функциональные зоны (рис. 4): объекты санаторного лечения, зона лесопарков и городских парков, объекты коммунальной и транспортной инфраструктуры, зона сельскохозяйственного использования, жилая зона (индивидуальные жилые дома), производственная зона. Большая часть территории отведена под территорию лесопарков.

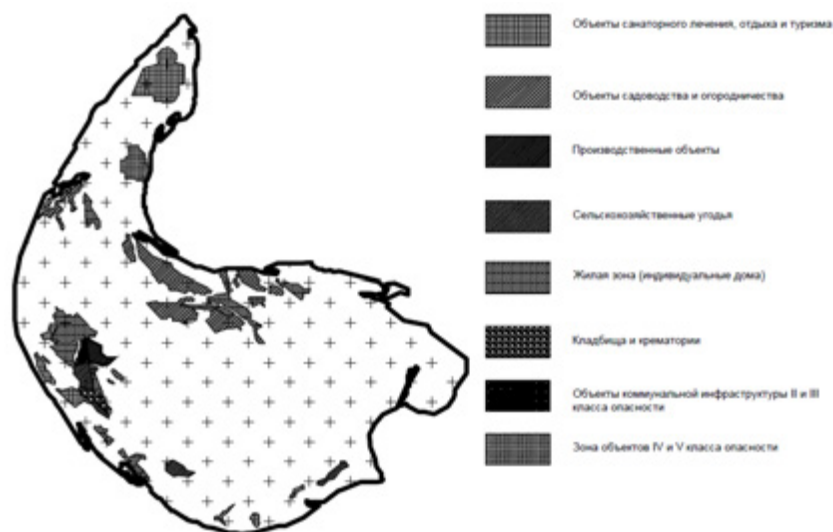


Рис. 4. Функциональное зонирование территории о. Сарпинского в соответствии с ПЗЗ Волгограда

Учитывая территориальные ресурсы, уникальность природных ландшафтов и фауны острова, наиболее целесообразным видится формирование экопоселения на базе острова как туристического центра народных традиций. Для разработки возможных перспектив планировочного развития были определены риски и вероятная степень воздействия факторов, возникающих в результате освоения территории. Для сохранения сбалансированного развития территории острова на основании выявленных рисков воздействия на экологию окружающей среды острова был проведен математический анализ характеристик территории [12, 13]. В результате была разработана иерархическая модель свойств, влияющих на окружающую среду (рис. 5).

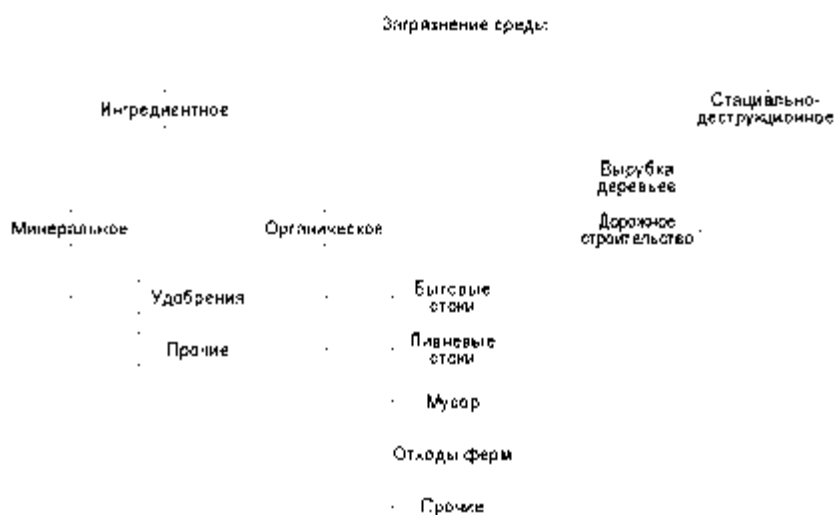


Рис. 5. Факторы воздействия на экологию о. Сарпинского

Для оценки степени воздействия экопоселения на экологию Сарпинского проведен анализ качественных характеристик среды острова с учетом прогнозируемого воздействия указанных факторов (см. рис. 5). Проведение данного анализа позволит предварительно определить комплекс мер, направленных на сохранение окружающей среды острова [14—16]. Для анализа и количественной оценки качественных характеристик, как правило, используют следующие методы: квалиметрия, эвристические (основанные на экспертных оценках) и инструментальные (с применением технических средств) методы.

Использование ABC-анализа территории позволит определить основные градоэкологические параметры, оказывающие наибольшее влияние на качество окружающей среды. Основа метода состоит в выявлении трех составляющих элементов, факторов проявления проблемной ситуации, общий вклад которых составляет около 80 %. Фокус внимания на таких составляющих и их последующее устранение ведут к минимизации или полному решению выявленной проблемы. Метод используется при наличии достоверной и фиксированной информации о выбранных составляющих.

Методика проведения анализа состоит из алгоритма:

- формулирование цели анализа;
- выбор критерия классификации;
- группировка объектов классификации в порядке убывания значения признака;
- расчет нарастающего итога значения критерия классификации;
- построение кривой ABC (неупорядоченная диаграмма частотного распределения проявлений, упорядоченная по возрастанию доли проявления явления диаграмма частотного распределения, упорядоченная по уменьшению доли проявления явления диаграмма частотного распределения);
- разделение объектов на группы А, В, С.

Алгоритм проведения анализа для структуризации выявленной проблемы приведен на рис. 6.

Определенным достоинством этого метода является графическое представление проведенных результатов вычислений, он позволяет визуализировать эти результаты, что облегчает их восприятие. Позволяет выявить неочевидную информацию о проявлениях исследуемого фактора (явления), его закономерностях. Был проведен анализ экологической ситуации острова и определены основные проблемы, которые оказывают воздействие на экосистему острова (рис. 7, табл. 2).

Следует учитывать факт, что при формировании поселений увеличивается нагрузка на экологию окружающей среды. Соответственно, на предварительном этапе следует оценивать вероятную степень воздействия на окружающую среду и на стадии планирования определить комплекс мероприятий и проектных решений, способствующих предотвращению и снижению степени воздействия на окружающую среду. Также рекомендуется определять проектную емкость территории с учетом удельной нагрузки. Это позволит определить критическое число максимальной вместимости человек на территории поселения.



Рис. 6. Схема алгоритма проведения анализа для структуризации проблемы

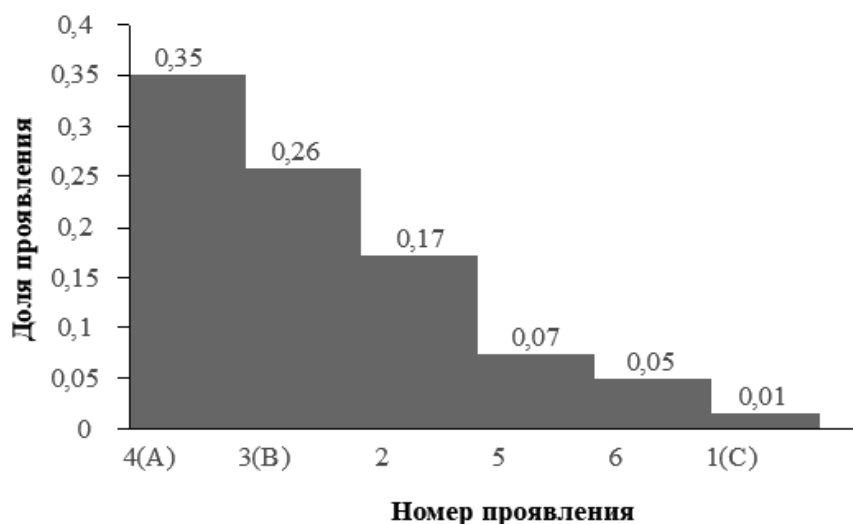


Рис. 7. Упорядоченная по уменьшению доли проявления явления диаграмма частотного распределения (диаграмма Парето)

Табличное представление и результаты обработки информации

Составляющие проблемы	Распространение составляющей проблемы, %	Доля составляющей в проблеме, %	Ранг категории	Обозначение ранга
1. Отсутствие очистных сооружений для сбора ливневых стоков и остатков продуктов жизнедеятельности жителей острова	3	0,01	3	С
2. Отсутствие элементов благоустройства рассматриваемой территории, санитарно-гигиенических условий	19	0,17	4	—
3. Недостаточное обеспечение жилищными условиями населения о. Сарпинского	31	0,26	2	В
4. Труднодоступная транспортная связь между городом и островом	47	0,35	1	А
5. Проблема ежегодного изменения рельефа острова	9	0,07	5	—
6. Прочие проблемы недостаточной обеспеченности территории	6	0,05		—
<i>Итого</i>	115	1		

Таким образом, проведенный анализ факторов развития острова и рисков воздействия на микросреду острова с помощью АВС-анализа позволил определить наиболее вероятные проблемы воздействия на окружающую среду. Соответственно, для снижения степени воздействия на экологию окружающей среды острова необходимо предусмотреть в проектном решении:

- транспортную связь города и острова с учетом минимизации воздействия на остров, посредством разработки дополнительных градостроительных мероприятий;
- модернизацию жилищных условий с учетом санитарно-гигиенических требований;
- проектирование очистных сооружений для предотвращения загрязнения прибрежных вод реки Волги;
- высадку зеленых массивов на территории острова, выполняющих санитарно-гигиенические функции.

Реализация представленных мероприятий будет не только способствовать сохранению окружающей среды острова, но и снижать вероятное негативное воздействие в результате увеличения освоенности территории и увеличения численности проживающих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакланов П. Я. Территориальная организация и пространственное развитие // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. Владивосток : Тихоокеанский ин-т географии ДВО РАН, 2019. С. 24—28. EDN ZRSSXZ.

2. Саакян Е. Г. Экологические поселения // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. 2014. № 2(5). С. 54—62. EDN TLAPKJ.
3. Елин К. М. «Экообъекты» как инновационные экологические поселения нового типа и их роль в развитии современного общества // Инновации и инвестиции. 2012. № 2. С. 123—126. EDN SAGMFD.
4. Кулаков И. Ф. Экологические поселения как ответ на вызовы общества потребления // Интеллектуальный потенциал XXI века: степени познания. 2016. № 37. С. 117—121.
5. Селезнев А. Г. Экологические поселения: варианты освоения локального пространства и принципы классификации // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2018. Т. 24. С. 439—442. DOI : 10.17746/2658-6193.2018.24.439-442.
6. Lemeshchev M. J. Polyfunctional Rural Settlements (“Ecovillages”) — an Alternative to a Life-threatening Urbanization // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2015. № 2(140). С. 46—53.
7. 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 : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020. Sochi : IOP Publishing Ltd, 2020. P. 042003. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042003. EDN MJDDAO.
8. Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Растяпина О. А. Формирование экологических поселений на территории Волгоградской области // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 2(79). С. 233—244. EDN DWXGWQ.
9. Prokopenko V. V., Ganzha O. A., Rastyapina O. A. Urban ecology features of large city disturbed territory development (case of Volgograd) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. Chelyabinsk : Institute of Physics Publishing, 2019. P. 055038. DOI: 10.1088/1757-899X/687/5/055038. EDN QTSVJW.
10. Экоприемы формирования водно-природных пространств острова Сарпинского / Е. И. Мельникова, Н. Н. Антонова, О. В. Иванова и др. // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. № 53(72). С. 149—156. EDN UZKCLE.
11. Uskova T. V., Sekushina I. A. Strategic Priorities of Small and Medium Towns' Development // Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2021. Vol. 14. No. 1. Pp. 56—70. DOI: 10.15838/esc.2021.1.73.5. EDN EKNSPU.
12. Orlov D. V. Ecological determination of the settlement of hydrozoan planulae // Journal of General Biology. 1996. Vol. 57. No. 2. Pp. 119—122. EDN MOVVZV.
13. Венгер М. Г. Выявление и исследование проблем территории с помощью метода ABC // Современная школа России. Вопросы модернизации. 2022. № 2-1(39). С. 148—150.
14. Finogenov A. I., Popov A. V. Concept of planning development of coastal resort settlements under conditions of complex relief // Journal of Environmental Management and Tourism. 2019. Vol. 10. No. 1(33). Pp. 135—139. DOI: 10.14505/jemt.v10.1(33).13.
15. Bodini A., Bondavalli C. Towards a sustainable use of water resources: A whole-ecosystem approach using network analysis // International Journal of Environment & Pollution. 2002. Vol. 18. No. 5. P. 463.
16. Gavrilova Y. V., Privalova M. V., Kondakova N. S. Small towns of Russia: Sustainable development in the context of globalization // Man in India. 2017. Vol. 97. No. 21. Pp. 171—193.

© Растяпина О. А., Матузкова М. А., Прокопенко В. В., Сабитова Т. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Растяпина О. А., Матузкова М. А., Прокопенко В. В., Сабитова Т. А. Оценка потенциала формирования экопоселений на приречных территориях (на примере о. Сарпинского г. Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 222—230.

Об авторах:

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; o_rast@list.ru

Матузкова Милана Алексеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; mila.bliznetsova@yandex.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

Сабитова Татьяна Анатольевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ta.sabitova@gmail.com

**Oksana A. Rastyapina, Milana A. Matuzkova, Vyacheslav V. Prokopenko,
Tat'yana A. Sabitova**

Volgograd State Technical University

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL FOR THE FORMATION OF ECOVILLAGES IN THE RIVERINE TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF SARPINSKY ISLAND, VOLGOGRAD)

The growth and development of the urbanized environment leads to the need to find solutions to optimize the planning structure and the territorial development of the urban planning system. One of the ways to solve the issue of greening urban settlement systems is the formation of small settlements in the suburban area and the area close to the urban environment. One of the ecological forms of settlements is the ecovillage. This form of settlement is becoming increasingly popular and therefore requires detailed study. It is necessary to determine the requirements for the formation of ecovillages, as well as possible risks and factors affecting the ecology of the environment.

К е y w o r d s: ecovillage, small forms of settlements, planning structure, environmental impact.

For citation:

Rastyapina O. A., Matuzkova M. A., Prokopenko V. V., Sabitova T. A. [Assessment of the potential for the formation of ecovillages in the riverine territories (on the example of Sarpinsky island, 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. 4, pp. 222—230.

About authors:

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; o_rast@list.ru

Milana A. Matuzkova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; mila.bliznetsova@yandex.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

Tat'yana A. Sabitova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ta.sabitova@gmail.com

УДК 628.511.1

Н. М. Сергина^а, Е. О. Брызгина^б, Р. В. Сущенко^а, М. Д. Азарова^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Российский университет транспорта*

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛЬЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПАРКОВЫХ ЗОНАХ БОЛЬШОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

Исследования загрязнения воздушной среды в парковых зонах крупного промышленного города проводились в Волгограде. Для обследования были выбраны два парка-сквера, расположенные в центральной части города, где отсутствуют промышленные предприятия. По результатам исследований получены данные, характеризующие дисперсный состав пыли, содержащейся в воздушной среде обследованных парковых зон Волгограда. Оценка фактических концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$ показала значительное превышение PM_{10} в периоды года с положительными температурами воздуха гигиенических нормативов, установленных рекомендациями Всемирной организации здравоохранения и национальным стандартом. В статье также приводятся полученные данные об элементном составе исследуемых частиц.

Ключевые слова: атмосферный воздух, мелкодисперсная пыль, ПДК, метод микроскопии.

К настоящему времени известно много работ, посвященных исследованиям загрязнения городской воздушной среды мелкодисперсной пылью PM_{10} и $PM_{2,5}$. Источники мелкодисперсной пыли в городской воздушной среде одними исследователями делятся на пять категорий: транспорт, промышленность, бытовое сжигание топлива, природные источники (включая пыль почвы и морскую соль) и неустановленные источники антропогенного происхождения [1—11]. Другими исследователями рассматриваются семь источников пылевых частиц, включая выбросы транспорта, промышленные выбросы, сжигание природного топлива, приготовление пищи, транспортируемый аэрозоль, морской аэрозоль и радиоактивность [12—21].

При этом в среднем во всем мире на долю промышленности приходится 15 % вноса в атмосферный воздух городов частиц $PM_{2,5}$ и 18 % вноса частиц PM_{10} . Аналогично внос транспорта составляет по 25 %. Вместе с тем эти показатели варьируются в зависимости от географического положения региона и уровня его экономического развития [11].

Например, результаты многолетних исследований (2002—2010 гг.) в Бостоне (США) показали, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха частицами $PM_{2,5}$ вносит загрязнение региона, на которое приходится 48 % общей массы $PM_{2,5}$, автомобильный транспорт (21 %) и сжигание древесины (19 %) [14], а к основным источникам частиц $PM_{2,5-10}$ относятся дорожная пыль (62 %), автомобильный транспорт (22 %) и морская соль (16 %).

Исследования, проведенные в районе нефтеносных песков Альберта (Канада), позволили выявить пять источников частиц $PM_{2,5}$, из которых наибольший вклад вносят обогащение нефтяных песков (32 %), дорожная пыль (26 %), сжигание биомассы (25 %). В этом же районе частицы $PM_{10-2,5}$ в атмосферу

вносятся в основном дорожной пылью (40 %), нефтяным песком (27 %), неорганизованной летучей пылью (16 %), сжиганием биомассы (12 %) [16].

По результатам исследований в Новой Зеландии источники вкладов частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} по значимости зимой выстраиваются в следующей последовательности: сжигание биомассы, транспортные средства, морской аэрозоль, транспортируемый сульфат и почва [1].

В тропическом регионе Юго-Восточной Азии, где на концентрацию и источники $PM_{2,5}$ сильно влияют изменения режимов муссонов [13], исследования были проведены с использованием факторизации положительных матриц (PMF) 5.0 Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) и модели массового закрытия. Первая модель выделила пять потенциальных источников: выбросы автотранспорта в сочетании со сжиганием биомассы (31 %), сульфатный аэрозоль (20 %), сжигание угля (19 %), нитратный аэрозоль (17 %) и дорожная пыль (13 %). Вторая модель установила четыре источника: минеральные вещества (35 %), вторичный неорганический аэрозоль (11 %), морская соль (7 %), микроэлементы (2 %) [13].

Перейдем теперь к европейским городам. Например, в Париже (Франция) в течение года на городской территории проводились исследования, направленные на выявление и распределение мелкодисперсных частиц в их основных источниках и определение их географического происхождения. Исследование было основано на ежедневной оценке химического состава $PM_{2,5}$ [4]. Для идентификации и распределения мелких аэрозолей в их источниках использовалась положительная матричная факторизация (EPA PMF3.0). Функция вклада потенциального источника (PSCF) и функция условной вероятности (CPF) позволили оценить географическое происхождение источников. По результатам исследований авторами были выявлены семь факторов: фактор, обогащенный сульфатом аммония (27 %); фактор, обогащенный нитратом аммония (24 %); сжигание тяжелой нефти (17 %); сжигание биомассы (14 %); морские аэрозоли (6 %); металлургия (1 %). При этом установлено, что в среднем более половины измеренной в Париже массы $PM_{2,5}$ приходится на перенос вторичных аэрозолей из континентальной Европы, а вклад местных источников составляет менее четверти [4].

В Болонье (Италия) исследования по идентификации источников мелкодисперсных частиц проводились с использованием двух моделей: анализ главных компонентов/многолинейный регрессионный анализ (PCA/MLRA) и факторизация положительной матрицы (PMF). PCA/MLRA определили четыре основных источника аэрозоля: респундированные частицы и псевдоморсиновый фактор (уход за улицами зимой) (оба фактора связаны с выделением частиц $PM_{2,5-10}$), сжигание топлива и вторичный аэрозоль (обуславливают поступление в атмосферу $PM_{2,5}$). Модель PMF выявила шесть источников аэрозоля: минеральная пыль, дорожная пыль, движение транспорта, вторичный аэрозоль, сжигание биомассы и псевдоморсиновый фактор [20].

Разумеется, в рамках этой статьи авторами даны ссылки лишь на некоторые результаты исследований, проведенных и проводимых во многих странах мира с достаточно высоким уровнем развития экономики. Следует отметить, что аналогичные исследования на протяжении многих лет проводятся

российскими исследователями, как внутри страны [2], так и за ее пределами. Например, сотрудниками Волгоградского государственного технического университета совместно с Национальным агентством Афганистана по экологии и защите окружающей среды проведены исследования по оценке загрязнения PM_{10} атмосферного воздуха в Кабуле (Афганистан) [18, 19].

Также хорошо известны работы, посвященные исследованиям химического состава PM_{10} и $PM_{2,5}$ [6, 9, 13] и их негативного влияния на дыхательную и сердечно-сосудистую системы человека* [5, 12, 17]. Причем некоторые исследователи показывают, что этому воздействию больше всего подвержены дети и пожилые люди старше 65 лет [5].

Волгоград — один из крупнейших промышленных центров на юге России. Основные отрасли промышленности, предприятия которых расположены в городе, — машиностроение и металлообработка (выпуск тракторов, судов, подшипников, оборудования для нефтяной промышленности; производство бурового оборудования); нефтеперерабатывающая, химическая, нефтехимическая (в том числе производство каустической соды), черная и цветная металлургия. И, соответственно, как в любом промышленном городе, работа этих предприятий обуславливает проблемы, связанные с загрязнением атмосферного воздуха, в том числе взвешенными веществами.

Кроме того, вследствие значительной протяженности вдоль Волги город имеет развитую и разветвленную транспортную инфраструктуру. Таким образом, загрязнение городской воздушной среды в Волгограде PM_{10} и $PM_{2,5}$ в основном формируется за счет промышленности и транспорта.

К настоящему времени в России уже накоплен некоторый опыт по организации наблюдения за концентрациями мелкодисперсных частиц в рамках мониторинга качества атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах. Однако такое наблюдение не проводится в отношении рекреационных зон, в частности в отношении городских парков и скверов. Много времени в парковых зонах проводят люди перечисленных выше возрастных категорий. Весной, летом и осенью их число возрастает за счет туристов, посещающих город.

В этой связи исследования загрязнения мелкодисперсными пылевыми частицами воздушной среды в парках и скверах Волгограда приобретают особую значимость.

Для исследований были выбраны два парка-сквера в Центральном районе города. Один из них протянулся вдоль проспекта Ленина параллельно одной из главных городских автомагистралей. Второй проходит от главной площади города к Центральной набережной Волги (Аллея Героев), пересекая проспект Ленина, и имеет длину 360 м.

Эти два парка-сквера являются местом проведения различных массовых мероприятий и чаще всего посещаются горожанами и туристами. Выбор их для исследований также обусловлен тем, что в Центральном районе отсутствуют промышленные предприятия.

* Руководство ВОЗ по качеству воздуха для твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальное обновление 2005 г. Резюме оценки риска.

Климат Волгограда характеризуется как умеренно континентальный, с относительно холодной зимой и жарким, засушливым летом. Волгоград является одним из самых жарких городов России. По данным многолетних наблюдений, средняя температура воздуха в городе составляет +8,2 °С. Самый холодный месяц — февраль, со средней температурой –6,6 °С, самый теплый — июль, со среднесуточной температурой +23,6 °С.

Весна в городе — самый скоротечный период: в конце марта среднесуточная температура превышает 0 °С; с середины и до конца апреля происходит резкое повышение среднесуточных температур до +15 °С, и можно говорить о смене сезона. В городе преобладают ветры восточного направления, средняя за год скорость ветра составляет $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. В период с ноября по март относительная влажность воздуха составляет 89...90 %, с мая по сентябрь — 50...60 %.

Исследования проводились в 2021—2022 гг. С целью оценки фракционного состава пыли и содержания частиц PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$ отборы проб проводились в 18 точках в выбранных для обследования парках-скверах Волгограда в зимний, летний и осенний периоды года. Отбор проб проводился гравиметрическим методом на фильтры АФА, размещаемые в фильтродержателе на высоте 0,5, 1,0, 1,5 и 2 м. Скорость ветра измерялась цифровым анемометром ИСП-МГ4 (диапазон измерений 0,1...30,0 м/с). Цифровой электронный термометр RSTO (диапазоны измерения: температуры — –50...+70 °С; относительной влажности — 1...99 %) использовался для измерения указанных климатических параметров.

Исследования фракционного состава пыли проводились методом микроскопии с использованием для обработки данных программного комплекса DUST-1. Для оценки элементного состава пыли использован двухлучевой электронный сканирующий микроскоп Versa 3D.

Измеренные концентрации PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$ сопоставлялись с нормативами, установленными World Health Organization (WHO) (Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ)) и национальными стандартами, принятыми в России в 2010 г. (табл. 1).

Таблица 1

*Предельно допустимые концентрации PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$
по рекомендациям ВОЗ и национального стандарта*

Источник	Предельно допустимые концентрации PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$, мг/м ³	
	Среднесуточная	Среднегодовая
	<i>PM_{10}</i>	
Рекомендации ВОЗ	0,050	0,020
Национальный норматив	0,060	0,040
	<i>$\text{PM}_{2,5}$</i>	
Рекомендации ВОЗ	0,025	0,010
Национальный норматив	0,035	0,025

Результаты оценки фракционного состава пыли, содержащейся в воздушной среде обследованных парковых зон Волгограда, показаны в табл. 2.

Таблица 2

*Фракционный состав пыли в воздушной среде
 обследованных парковых зон Волгограда*

Парковая зона	Период измерений	Содержание частиц с размерами d_p , %		
		$\leq 2,5$ мкм	2,5...10,0 мкм	10...20 мкм
Парк-сквер на проспекте Ленина	Декабрь 2021 г. — март 2022 г.	0,2	5...10	90
	Май — август 2022 г.	0,5...2,5	25...40	55...75
	Сентябрь — ноябрь 2021 г.	0,5...2,0	19...35	70
Парк-сквер Аллея Героев	Декабрь 2021 г. — март 2022 г.	—	4...10	66...90
	Май — август 2022 г.	0,3...1,0	15...25	70...80
	Сентябрь — ноябрь 2021 г.	0,3...1,5	9,5...28,0	70

Представленные данные свидетельствуют о том, что наибольшее содержание частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ соответствует периодам года с положительными значениями температуры. Осредненные за период исследований результаты, приведенные в табл. 3, показывают, что массовая доля частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ значительно зависит от температуры воздуха. Так, при повышении температуры от $+5$ °C массовая доля частиц PM_{10} возрастает примерно в три раза, при повышении температуры от $+15$ °C массовая доля частиц $PM_{2,5}$ — почти в шесть раз.

Таблица 3

*Изменение массовой доли PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздушной среде
 обследованных парковых зон Волгограда в зависимости от температуры воздуха*

Массовая доля частиц, %	Температура наружного воздуха		
	$+5$ °C	$+15$ °C	$+25$ °C
PM_{10}	7...8	19...22	22...27
$PM_{2,5}$	—	0,3...0,4	2,2...2,3

При этом зависимость массовой доли PM_{10} и $PM_{2,5}$ от климатических факторов для периодов, характеризующихся высокими температурами воздуха, с достаточной степенью точности может быть описана следующими выражениями:

для PM_{10}

$$PM_{10} = 21,248 + 0,0166(t - 1,6)^2 - 0,318(v + 1,7)^2 - 0,0021(\varphi - 22)^2; \quad (1)$$

для $PM_{2,5}$

$$PM_{2,5} = 2,248 + 0,555 \cdot 10^{-3}(t - 2,3)^2 - 0,019(v + 1,8)^2, \quad (2)$$

где t — температура воздуха, °C; v — скорость ветра, м/с; φ — относительная влажность воздуха, %.

В табл. 4 приведены результаты сопоставления фактических концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$ со значениями, рекомендованными ВОЗ. Данные, представленные в табл. 5, характеризуют результаты сравнения измеренных концентраций с нормативами, принятыми в России.

Таблица 4

Фактические концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ в обследованных парковых зонах Волгограда в сравнении с рекомендациями ВОЗ

Парковая зона	Период года	Фактические концентрации / рекомендации WHO	
		Среднесуточная	Среднегодовая
<i>PM_{10}</i>			
Парк-сквер на проспекте Ленина	Зима	0,64	1,6
	Лето	2,4	6,0
	Осень	1,8	4,5
<i>$PM_{2,5}$</i>			
Парк-сквер Аллея Героев	Зима	0,08	0,2
	Лето	0,2	0,5
	Осень	0,12	0,3

Таблица 5

Фактические концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ в обследованных парковых зонах Волгограда в сравнении с российскими нормативами

Парковая зона	Период года	Фактические концентрации / российские нормативы	
		Среднесуточная	Среднегодовая
<i>PM_{10}</i>			
Парк-сквер на проспекте Ленина	Зима	0,5	0,75
	Лето	2,0	3,0
	Осень	1,5	2,25
<i>$PM_{2,5}$</i>			
Парк-сквер Аллея Героев	Зима	0,06	0,08
	Лето	0,14	0,2
	Осень	0,09	0,12

Полученные при проведении исследований результаты показывают, что содержание частиц $PM_{2,5}$ в воздушной среде обследованных парковых зон Волгограда соответствует и рекомендациям ВОЗ, и российским стандартам, тогда как концентрации PM_{10} даже зимой значительно превышают среднесуточный и среднегодовой нормативы. При отсутствии промышленных предприятий в центре города основными источниками поступления в воздушную среду парковых зон в рассматриваемом случае можно считать транспорт и пыль природного происхождения.

Исследования на сканирующем электронном микроскопе позволили охарактеризовать твердофазный компонентный состав пыли фракции PM_{10} .

Были обнаружены частицы природного и антропогенного происхождения, в том числе алюмосиликаты, соединения различных металлов и т. д.

В числе последних преобладают почвообразующие элементы — алюминий и железо.

Полученные результаты выявили значительное превышение нормативов по содержанию PM_{10} в воздушной среде обследованной парковой зоны Волгограда даже при отсутствии в непосредственной близости производственных объектов. В этой связи необходимо проведение аналогичных исследований в других парковых зонах города, особенно в тех, которые расположены вблизи промышленных предприятий.

Кроме того, дальнейшее осуществление таких исследований будет способствовать совершенствованию системы мониторинга атмосферного воздуха не только в Волгограде, но и в других промышленных городах России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sources and transport of particulate matter on an hourly time-scale during the winter in a New Zealand urban valley / T. Anlace, P. K. Davy, W. J. Trompeter, A. Markwitz, D. C. Weatherbu // *Urban Climate*. 2014. Vol. 10. No. 4. Pp. 644—655.
2. Азаров В., Сергина Н., Сидякин П., Ковтунов И. Сезонные вариации содержания пылевых частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздухе городов-курортов в зависимости от интенсивности транспортного движения и других условий // Серия конференций ИОР : Науки о Земле и окружающей среде, 2017. Вып. 90.
3. Боровлев А. С., Кунгурцев С. А., Мигаль Л. В., Соловьев В. Л. Загрязнение атмосферного воздуха г. Белгорода пылевидными частицами малого размера // Научные заметки : электрон. науч. журн. Курского гос. ун-та. 2013. № 1(25).
4. Sources and geographical origins of fine aerosols in Paris (France) / M. Bressi, J. Sciare, V. Ghersi et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. No. 2. Pp. 872—890.
5. Mortality associations with long-term exposure to outdoor air pollution in a national English cohort / I. M. Carey, R. W. Atkinson, A. J. Kent et al. // *American journal of respiratory and care medicine*. 2013. Vol. 187. No. 11. Pp. 1226—1233.
6. Seasonal and spatial variability in chemical composition and mass closure of ambient ultra-fine particles in the megacity of Los Angeles / N. Daher, S. Hasheminassab, M. M. Shafer, J. J. Schauer, C. Sioutas // *Environmental Science: Processes and Impacts*. 2013. Vol. 15. No. 1. Pp. 283—295.
7. Годовые колебания PM_{10} в воздухе г. Владивостока / В. А. Дрозд, П. Ф. Кику, В. Ю. Ананьев и др. // *Материалы Самарского науч. центра РАН*. 2015. № 5(2). С. 646—658.
8. Fuzzi S., Baltensperger Y., Carslaw K., Decesari P. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015. Vol. 15. Pp. 8217—8299.
9. Galon-Negru A. G., Olariu R. I., Arsene C. Chemical characteristics of size-resolved atmospheric aerosols in Iasi, north-eastern Romania: nitrogen-containing inorganic compounds control aerosol chemistry in the area // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018. Vol. 18. Pp. 5879—5904.
10. Contribution (contributions) of the cities of the environment of firm particles (PM): the systematic review of local sources of contributions at the global level / F. Karagulian, C. Balys, C. F. C. Dora et al. // *Atmospheric environment*. 2015. Vol. 120. Pp. 475—483.
11. Source of contributions to $PM_{2.5}$ and PM_{10} against the background of the city and the adjacent street / M. P. Keiken, M. Murman, M. Voogt et al. // *Atmospheric environment*. 2013. Vol. 71. Pp. 26—35.
12. Fine particulate matter in the tropical environment: monsoonal effects, source apportionment, and health risk assessment / M. F. Khan, M. T. Latif, W. H. Saw et al. // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 16. Pp. 597—617.
13. Khan M. F., Shirasuna Yu., Hirano K., Masunaga Sh. Quantifying the sources of hazardous elements of suspended particulate matter aerosol collected in Yokohama, Japan // *Atmospheric environment*. 2010. Vol. 44. No. 21-22. Pp. 2646—2657.
14. Marsi Sh., Kang Ch.-M., Koutrakis P. Composition and Sources of Fine and Coarse Particles Collected during 2002—2010 in Boston, MA // *Air Waste Manag. Assoc*. 2015. Vol. 65. No. 3. Pp. 287—297.

15. Exploration of the composition and sources of urban fine particulate matter associated with same-day cardiovascular health effects in Dearborn, Michigan / M. Morishita, R. L. Bard, N. Kaciroti et al. // *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2015. Vol. 25. Pp. 145—152.
16. Phillips-Smith K., Jeong Ch.-H., Healy R., Dabek E. Sources of particulate matter components in the Athabasca oil sands region // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017. Vol. 15. Pp. 9435—9449.
17. Quantitative Assessment of PM_{2.5} Sources and Their Seasonal Variation in Krakow / L. Samek, Z. Stegowski, K. Styszko, K. Szramowiat, J. Fiedor // *Water, Air & Soil Pollution*. 2017. Vol. 228. No. 8. Pp. 228—290.
18. Стефаненко И. В., Соловьева Т. В., Насими М. Х., Азаров В. Н. Концентрация мелкодисперсной пыли PM₁₀ в атмосфере г. Кабула, Афганистан, в весенние месяцы // *Прикладная механика и материалы: материалы Междунар. конф. «Гражданское, архитектурное, структурное и строительное проектирование — II»*. Южная Корея, 2017.
19. Стефаненко И. В., Соловьева Т. В., Азаров В. Н., Насими М. Х. О расчетной модели мелкодисперсного пылевого загрязнения атмосферы Кабула для проектирования вентиляции // *Прикладная механика и материалы: материалы 2-й Междунар. конф.*, 2018. Вып. 875. С. 132—136.
20. Source apportionment of particulate matter in a large city of southeastern Po Valley (Bologna, Italy) / L. Tositti, E. Brattich, M. Masiol et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. Pp. 872—890.
21. Vu T. V., Delgado-Saborit J. M., Harrison M. R. Review: Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies // *Atmospheric Environment*. 2015. Vol. 122. С. 114—132.

© Сергина Н. М., Брызгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Сергина Н. М., Брызгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д. Исследования загрязнения мелкодисперсной пылью воздушной среды в парковых зонах большого промышленного города // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 4(89). С. 231—239.

Об авторах:

Сергина Наталия Михайловна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Россия, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Брызгина Екатерина Олеговна — директор Академии интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожном комплексе, Российский университет транспорта. Российская Федерация, 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Сущенко Радмила Владимировна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Азарова Мария Денисовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Natalia M. Sergina^a, Ekaterina O. Bryazgina^b, Radmila V. Sushchenko^a, Mariya D. Azarova^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Russian University of Transport*

STUDIES OF AIR POLLUTION WITH FINE DUST IN THE PARK AREAS OF A LARGE INDUSTRIAL CITY

Studies of air pollution in the park areas of a large industrial city were carried out in the city of Volgograd. Two parks were chosen for the survey, located in the central part of the city, where there are no industrial enterprises. Based on the results of the research, data were obtained characterizing the dispersed composition of dust contained in the air environment of the surveyed park areas of

Volgograd. Estimation of actual concentrations of PM₁₀ and PM_{2,5} showed a significant excess of PM₁₀ in periods of the year with measured air temperatures, hygiene standards, found out by the recommendations of the World Health Organization and an external standard. The article also obtained data on the elemental composition of the main particles.

Key words: atmospheric air, fine dust, maximum permissible concentration, microscopy method.

For citation:

Sergina N. M., Bryazgina E. O., Sushchenko R. V., Azarova M. D. [Studies of air pollution with fine dust in the park areas of a large industrial 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. 4, pp. 231—239.

About authors:

Natalia M. Sergina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Ekaterina O. Bryazgina — Director of the Academy of Intelligent Transport Systems in the Automobile and Road Complex, Russian University of Transport. 9, Obraztsova st., Moscow, 127994, Russian Federation

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

Mariya D. Azarova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 726.04

Р. Ш. Алиева

Институт архитектуры и искусства Национальной академии наук Азербайджана

КАМЕННАЯ ПЛАСТИКА В КУЛЬТОВОМ ЗОДЧЕСТВЕ АПШЕРОНА (АЗЕРБАЙДЖАН)

В архитектуре главным элементом дизайнерского искусства является каменная пластика — признак профессионального мастерства зодчего. Статья посвящена проблеме культуры декора в культовых сооружениях Апшеронского полуострова. Начиная со Средневековья и до начала XX века в Апшероне было построено большое количество мечетей. Разные конструктивные элементы играли также роль декора. В статье рассматриваются типы детального искусства дизайнера.

Ключевые слова: культура дизайнера, каменная пластика, мечети Апшерона, арки, порталы, михраб, столбы, эпиграфические надписи, ниша.

Введение

В архитектуре главным элементом дизайнерского искусства является детальная культура — признак профессионального мастерства зодчего. В Азербайджане детальная культура начала формироваться в Средние века, в период XII—XV веков, и достигла пика своего развития при строительстве мавзолеев «Момине-хатун», «Гарабаглар», «Гюлистан», в Барде — «Аллах-Аллах». Использование жженого кирпича в качестве традиционного строительного материала позволило выявить его как конструктивные, так и декоративные качества. Покрытый голубой плиткой строительный материал, выложенный геометрическим орнаментом, превратился в дизайн фасадов, куполов и интерьера. Кладка кирпичей, создающая геометрические орнаменты и слова «Аллах», «Али» на поверхностях мавзолеев «Гарабаглар», «Гюлистан» в Нахчыване, «Аллах-Аллах» в Барде и строения «Имамзаде» в Гяндже сделала эти архитектурные строения еще более привлекательными.

Основная часть

Материалы и методы. Изучение данного вопроса базируется на работах известных ученых-исследователей, среди которых Ш. Фатуллаев-Фигаров, Р. Эфендиев, Г. Нуриева, М. Немат, А. Шарифова. Однако область исследований этих и других ученых охватывает весь Азербайджан, в то время как детальная культура апшеронских культовых зданий до сих пор не затронута. Исследователь Р. Эфендиев заменил термин «детальная культура» на термин «каменная пластика». Особенно это проявляется в мягких известняках Апшерона [1]. Российские и зарубежные исследователи посвящали свои труды изучению каменных иконок домонгольского времени, немецкой романской пластики, скульптур порталов и искусства Средних веков в Западной и Центральной Европе. В контексте историко-культурных процессов в искусстве Византии и Западной Европы рассматривается вопрос становления местной традиции, проблемы определения культурной принадлежности и датировки, правомерности выделения «художественных мастерских» и организации изготовления произведений скульптуры малых форм в Древней Руси* [2—5].

* Каменная скульптура и мелкая пластика древних и средневековых народов Евразии : сб. тр. САПИИ. Вып. 3. Барнаул : Азбука, 2007. 156 с.

Целью данного исследования является изучение мечетей Апшерона, чтобы получить информацию о декоративном и строительном искусстве различных периодов.

В архитектуре сформировалось три типа детального искусства дизайна:

- 1) конструктивный;
- 2) пластичный;
- 3) декоративный.

I тип элементов — пластичная обработка реальных конструктивных элементов в геометрической форме (арки, архивольты, столбы, тромпы, купола, порталы).

II тип элементов — более насыщенное пластическое решение типов конструктивных деталей (сталактиты, ниши, капители, михрабы) [6].

III тип элементов — образовался вследствие отказа от конструктивного решения пластичных деталей (медальоны, барельефы, скульптура, настенные рисунки, эпиграфические надписи и т. д.).

В архитектуре в элементы дизайна входят геометрический орнамент, изображения растений и живых существ. Геометрические орнаменты основываются на кристаллическом строении минералов. История развития геометрических узоров связана с развитием в X—XII веках математической науки. Цветочно-растительные узоры сформировались вследствие появления на Востоке ислама, в частности суфийского учения (теории). Цветочные узоры являются символом реальной жизни.

Изображения живых существ на архитектурных памятниках XI—XV веков можно встретить в мавзолеях Азербайджана, таких как мавзолей Мелика Аждара вблизи деревни Джиджимли Лачинского района и Хачин-Тирбетли в Агдамском районе [2]. Изображения грифона со львом, быка со львом, оленя со львом высечены на парадных арках. Эти каменные изображения состоят из мотивов, отображающих жизнь людей (жилой дом мецената М. Мухтарова в Баку).

Ислам, в отличие от христианства, в пропаганде религиозной идеологии запрещает широко использовать помпезные изображения живых существ в изобразительном искусстве, настенных рисунках, скульптуре, что является причиной строительства культовых сооружений в более серьезных архитектурных композициях. Ограничения в развитии некоторых видов изобразительного искусства, в том числе монументального и живописи в плане их содержания и формы, стали причиной развития элементов орнаментального дизайна.

I тип элементов

Арки. Арочные формы, берущие начало в древнетюркской архитектуре, став неотъемлемой частью средневековой мусульманской архитектуры, ярко представлены в строительстве культовых сооружений Апшерона. Усовершенствованные формы арочных конструкций повышали прочность строительства, придавали интерьеру и экстерьеру наряду с монументальностью и величию также и эстетическую красоту. В мечетях Апшерона стрельчатые и полукруглые арки получили широкое распространение. В интерьере они, начинаясь от капителей колонн или импостов, поднимаясь вертикально и продолжая соединение, становятся носителями конструкций элементов покрытия мечетей. Таким образом, возвышенные арочные конструкции как важнейший архитектурный мотив широко используются в мечетях в качестве декоративного элемента [7] (рис. 1, 2).



Рис. 1. Джума-мечеть в селении Нардаран

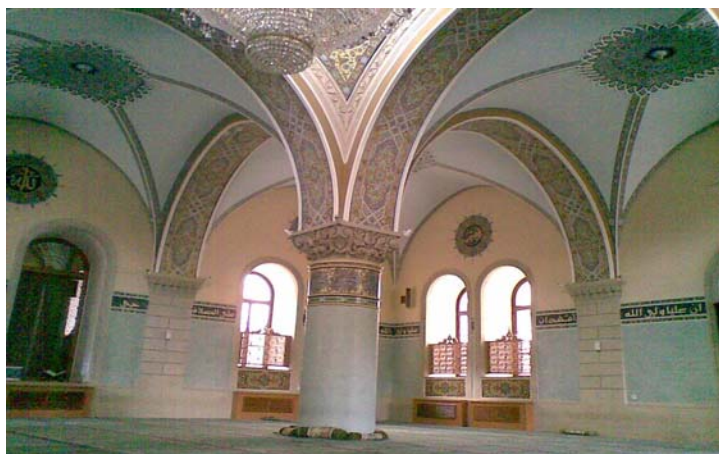


Рис. 2. Джума-мечеть в Ичери-шехер (Баку)

В лобовой части арки, на месте соединения нескольких частей, встречается декор с цветочным узором (мечеть в Ахмедлы и мечеть Мухтарова в Амираджане). Соединение стрелочных арок образует крестообразный сводчатый купол, является редким случаем, встречающимся в интерьере молитвенного зала (мечеть Кеченлер в селе Маштаги). Неповторимую особенность интерьеру придают кельи и места, созданные единением арок (мечети Хаджи-Бахши в Нардаране, Туба-Шахи в Мардакянах, Хаджи-Рамазан в поселке Гала и т. д.).

Порталы. Важным элементом в апшеронских мечетях является порталная арка, которая своей композицией и вертикальными элементами дополнительно подчеркивает величие монументального строения [6, 8—10]. Пилястры (мечеть Джума в поселке Бинагади, мечеть Шихлар в поселке Гала), рамки (мечеть Туба-Шахи в Мардакянах, мечеть в селении Кишлы, мечеть Хаджи-Бахши в Нардаране), медальоны или эпиграфические надписи (мечети Сураханылар в Шувелянах, Ахмедлы, Масазыре, Говсане), троппы делают порталную арку привлекательным парадным элементом. Медальон и эпиграфическая надпись на головной арке, как правило, дают информацию о

мастере и заказчике мечети. Тромпы, состоящие из геометрических «миан», «сельджукских цепей» или цветочного узора, обрамляют порталы арки (мечети в поселках Рамана, Сабунчи, Ахмедлы) (рис. 3).

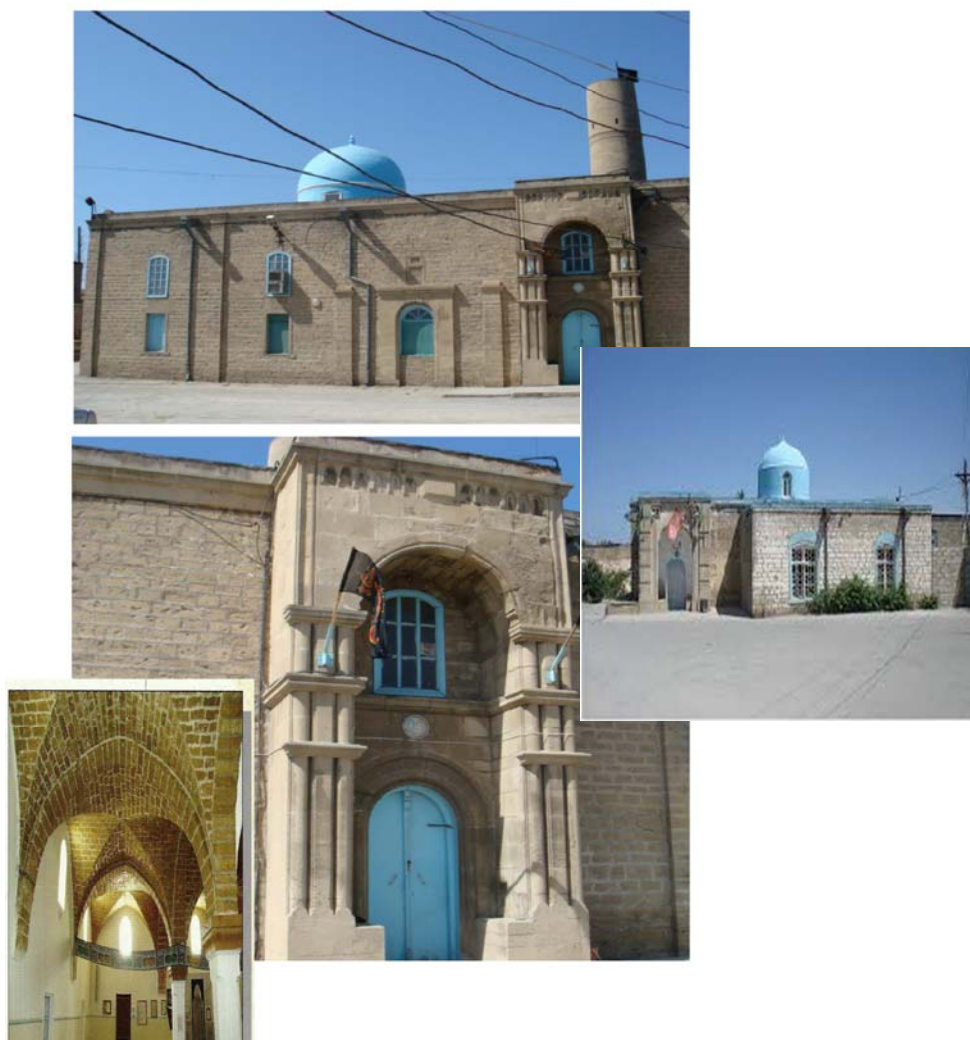


Рис. 3. Портальная композиция в заповеднике Нардаран

Столбцы, заняв конструктивную позицию в интерьере арок апшеронской культовой архитектуры, в свою очередь, поддерживают барабан купола и принимают участие в создании порталов на фасаде, в виде пилястр. Вертикальное строение колонн, направленное высоко во Вселенную, приумножает величие интерьера мечети. Апшеронские культовые строения не богаты элементами дизайна, в них использовалась резьба при обработке капителей колонн. Примером могут служить геометрические (в мечетях Хаджи-Таги в Забрате, Сеидляр в Маштагах) и цветочные (в мечети Шихляр в поселке Гала) узоры на капителях столбов.

II тип элементов

Михраб — элемент пластического дизайна в интерьере мечети, указывающий направление на Мекку. Михраб, изготовленный из апшеронского известняка с мягкой текстурой, размещенный в стене, как источник информации, определяет направление на Мекку. Украшенные художественными элементами дизайна, хонча и сталактиты (мечети в поселках Кишлы, Сабунчи), ребристые своды (мечети в селениях Мардакяны, Сарай, Говсаны), пилостры и тромпы (мечети Ага в Нардаране, Сабунчи, Амираджане, Джума-мечеть в Ичери-шехер) стали важным функциональным элементом молитвенного зала. Во многих мечетях Апшерона михрабы сконструированы в виде портала и расписаны аятами из Корана (мечети в поселках Пиршаги и Амираджане). Использование мастерами-архитекторами в изготовлении сразу нескольких дизайнерских деталей создало богатый декор михраба (рис. 4).



Рис. 4. Михрабы Джума-мечети в Ичери-шехер и в поселке Бузовны

Ниши являются неотъемлемым функциональным элементом жилых и общественных зданий Апшерона. В интерьере мечетей они просты и без декора, но созданная ими рельефная пластика, отражение света и тени на стенах позволяют причислить их к ряду важных элементов мечети (рис. 5).



Рис. 5. Ниши в мечетях Апшерона

Сталактиты, являясь важной частью художественного и конструктивного оформления архитектурных памятников, также нашли свое отражение в архитектурном наследии апшеронских памятников. Выражая в себе единство формы и содержания, обогащенные пластичными свойствами апшеронского белого известняка, эти элементы широко применялись в декоре минаретов (мечеть Мохаммеда, Джума-мечеть, дворцовая мечеть Ширваншахов в Ичери-шехер), порталов культовых и гражданских сооружений, в нишах михрабов, тропов, карнизов, капителей колонн. Система сталактитов проявляется в завершенности композиций, целостной и детальной гармонии, совершенстве пропорций, декоративном богатстве [11, 12] (рис. 6).



Рис. 6. Сталактиты в минаретах и порталах культовых сооружений

III тип элементов

Эпиграфические надписи. Арабская каллиграфия — утонченная культура, которая подчиняется законам соответствия композиции [3]. Различные стили и формы шрифта данной каллиграфии зависят от исторического и культурного развития нации. В апшеронских культовых сооружениях широкое распространение получили надписи, написанные арабским шрифтом, дающие информацию о мастере и заказчике мечети. Для преобразования обычного шрифта в архитектурный декор сооружения необходимо принимать во внимание масштаб и пластические качества.

Эпиграфические орнаменты, медальоны, рамки, надписи аятов из Корана стали украшением мечетей Апшерона. В некоторых мечетях арабская каллиграфия заменила настенные рисунки (мечеть Байрамали в заповеднике Гала, Пир Сеид в поселке Нардаран, мечеть М. Мухтарова в поселке Амираджан и т. д.) (рис. 7, 8).

Скульптурные элементы. Обладающие неисчерпаемой фантазией, очень опытные ремесленники-камнетесы в декоративном убранстве мечетей, наряду с мастерски выточенными колоннами, карнизами, архивольтами арок, композициями из сталактитов, также использовали низкие рельефные симметричные зооморфные сюжеты, композиции из малых скульптур, различные виды геометрических и растительных орнаментов (портал Джума-мечети в Ичери-шехер). К сожалению, в других апшеронских заповедниках такое богатое художественное творчество проявляется очень слабо (рис. 9, 10) [13].



Рис. 7. Эпиграфические надписи мечети Дворца Ширваншахов



Рис. 8. Орнаментальные декоры в мечети М. Мухтарова

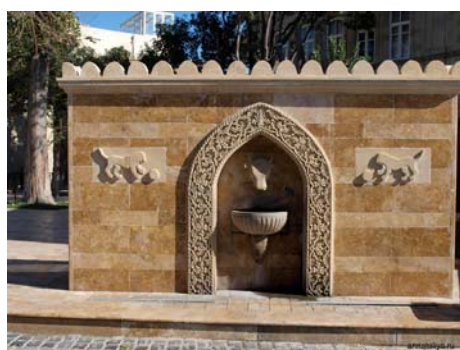


Рис. 9. Скульптурные элементы в местах омовения

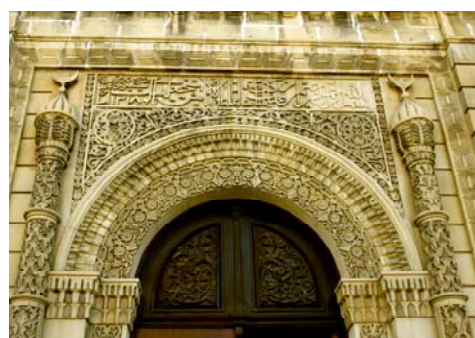


Рис. 10. Портал Джума-мечети в Ичери-шехер. Резьба по камню

Выводы

Демонстрируя экономический потенциал, в конце XIX и начале XX века дизайн интерьера и экстерьера апшеронских культовых сооружений сильно обогатился. Это богатство нашло отражение в оформлении интерьера: михрабы стали более расписными, стены и арки еще больше украшены геометрическим, цветочным, эпиграфическим орнаментом. В экстерьере привлекают внимание облицовка стен и купола зубчатыми машекулями, каменными плитами, металлическими перилами для балконов минаретов, роскошный декор порталов. Мечети Эльдаровых в поселке Бузовна, Мухтарова в Амираджане, Гейчек, Салиме в поселке Бина, Джума-мечеть в поселке Бинагади можно рассматривать в качестве примеров искусства архитектуры и орнаментального дизайна своего времени. Результаты изучения типов детального искусства дизайна в архитектуре апшеронских мечетей можно резюмировать следующим образом:

1. Чтобы сохранить детальное искусство в религиозных зданиях, надо периодически использовать метод «анастилоз».
2. Необходимо учитывать историческое наследие данного региона в процессе реставрации.
3. При реставрации рекомендуется использовать практику зарубежных стран (Италия, Средняя Азия).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Эфендиев Р. С.* Каменная пластика Азербайджана. Баку : Ишыг, 1986. 105 с.
2. *Архипова Е. И.* Каменные иконки в Древней Руси: итоги и проблемы изучения иконок домонгольского времени // Археология и давняя история Украины. 2010. Вып. 1. С. 419—425.

3. Алексеева М. С. Немецкая романская пластика и скульптура порталов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2011. № 3. С. 343—345.
4. Николаева Т. В. Древнерусская мелкая пластика из камня. XI—XV вв. М. : Наука, 1983. 164 с.
5. Тяжелов В. Н. Искусство Средних веков в Западной и Центральной Европе. М. : Искусство, 1981. 384 с.
6. Bozdogan S. Modernism and Nation Building: Turkish Architectural Culture in the Early Republic (Studies in Modernity and National Identity). USA : University of Washington Press, 2002. 380 p.
7. Борисова Е. А., Стернин Г. Ю. Русский модерн. М. : Галарт, 1994. 360 с.
8. Амензаде Р. Порталы в азербайджанской архитектуре. Баку : Азернешр, 1995. 80 с.
9. Godfrey G. Sinan: Ottoman Architecture & its Values Today. London : Saqi Books, 1993. 136 p.
10. Gonse L. L'Art gothique. Paris : Ancienne Maison Quantin, 1890.
11. Воронов Н. В. Российский дизайн. Очерки истории отечественного дизайна. М. : НИИ Рос. акад. художеств, 2001.
12. Шарифова А. Сталактиты в средневековой архитектуре Азербайджана и их современное использование. Баку : Наука и образование, 2013. 156 с.
13. Фатуллаев Ш. С. Архитектура Апшерона. Баку : Восток-Запад, 2003. 476 с.

© Алиева Р. Ш., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Алиева Р. Ш. Каменная пластика в культовом зодчестве Апшерона (Азербайджан) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 240—247.

Об авторе:

Алиева Рахиба Шанхай — д-р философии по архитектуре, доц., зав. отделом проблем охраны и реставрации памятников архитектуры Института архитектуры и искусства, Национальная академия наук Азербайджана (НАНА). Азербайджан, AZ-1143, г. Баку, ул. Гусейна Джавида, 115; rahibe_eliyeva@mail.ru

Rahiba Shankhai Alieva

Institute of Architecture and Art of National Academy of Science of Azerbaijan

STONE PLASTIC IN THE CULT ARCHITECTURE OF ABSHERON (AZERBAIJAN)

In architecture, the main element is a detailed art design culture — a sign of professional skill of the architect. The article deals with culture decoration in religious buildings of Absheron. In the Middle Ages and up to the beginning of the twentieth century, many mosques built in Absheron. Various design elements also played a role of decoration. This article discusses the types of detailed art design.

Key words: design culture, stone plastic, Absheron mosque, arches, portals, mihrab, poles, epigraphic inscription, niche.

For citation:

Alieva R. Sh. [Stone plastic in the cult architecture of Absheron (Azerbaijan)]. *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. 4, pp. 240—247.

About author:

Rahiba Shankhai Alieva — Doctor of Philosophy in Architecture, Docent, Institute of Architecture and Art of National Academy of Science of Azerbaijan. 115, Husein Javid st., AZ-1143, Baku, Azerbaijan; rahibe_eliyeva@mail.ru

УДК 721.01; 72.092

А. Л. Гельфонд

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

**ПО СЛЕДАМ ФЕСТИВАЛЯ «ЭКО-БЕРЕГ — 2017»:
ТЕРРИТОРИЯ СТРЕЛКИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ**

Место слияния Волги и Оки в Нижнем Новгороде стало подосновой для проведения открытого архитектурно-градостроительного конкурса «Нижегородская Стрелка — градостроительное осмысление важного общественного пространства» в рамках фестиваля «Эко-берег — 2017». В статье анализируются идеи и посылы из конкурсных проектов, легшие в основу современного благоустройства территории. Подробно рассказывается об истории места, а также об истории его реального и экспериментального проектирования. Статья сопровождается актуальными авторскими фотографиями.

Ключевые слова: Стрелка, архитектурное формирование, общественное пространство, паγκαузы.

В сентябре 2017 г. в рамках Международного архитектурного фестиваля «Эко-берег» в Нижнем Новгороде проходил открытый архитектурно-градостроительный конкурс «Нижегородская Стрелка — градостроительное осмысление важного общественного пространства», направленный на современное экологическое, градостроительное, архитектурное и дизайнерское развитие прибрежной территории в месте слияния Волги и Оки. Цель конкурса — получить концептуальные градостроительные предложения по созданию в Нижнем Новгороде городского рекреационного центра, насыщенного общественными, туристическими и культурно-спортивными функциями. Конкурсанты должны продемонстрировать комплексный подход к развитию предложенного участка и трансформации бывших коммунально-складских территорий Нижегородской Стрелки в новые пространства, интегрированные в контекст историко-культурной среды города. Задачи участников конкурса — разработать предложения по созданию в Нижнем Новгороде современного многофункционального рекреационного центра.

Но сначала об истории и «духе» этого места.

Стрелка — ключевое место для Нижнего Новгорода и России в целом. Здесь сошлось все: Природа, История, Общество, Человек. Возвышенное и земное: культ — собор Александра Невского — и порт крупнейшего советского города с заводами — гигантами индустрии [1]. Изначально слияние двух красивейших рек играло выраженную коммуникативную роль. Подчеркивая природные и исторические особенности города, Стрелка наделена важным градостроительным и смысловым значением, формирует речные панорамы Заречной части, просматривается сверху с видовых площадок Нагорной части (рис. 1).

С 1817 по 1930 г. территория относилась к Нижегородской ярмарке — крупнейшему торговому комплексу России, сформировавшемуся за сто лет как сложный многофункциональный центр, который включал торговые, административные, гостиничные, культовые, общественно-развлекательные, складские здания и сооружения. Это было целостное градостроительное

образование. Доминирующее положение на Стрелке занимал собор Александра Невского, который был построен в 1881 г. по проекту архитектора Л. В. Даля в центре ярмарочной площади и замыкал одну из главных улиц ярмарки — Александро-Невскую, проходившую вдоль берега Оки. После официальной ликвидации Нижегородской ярмарки в 1930 г. вместе с уничтожением архитектурного ансамбля ярмарки была практически полностью уничтожена и планировочная структура площади вокруг собора [2].

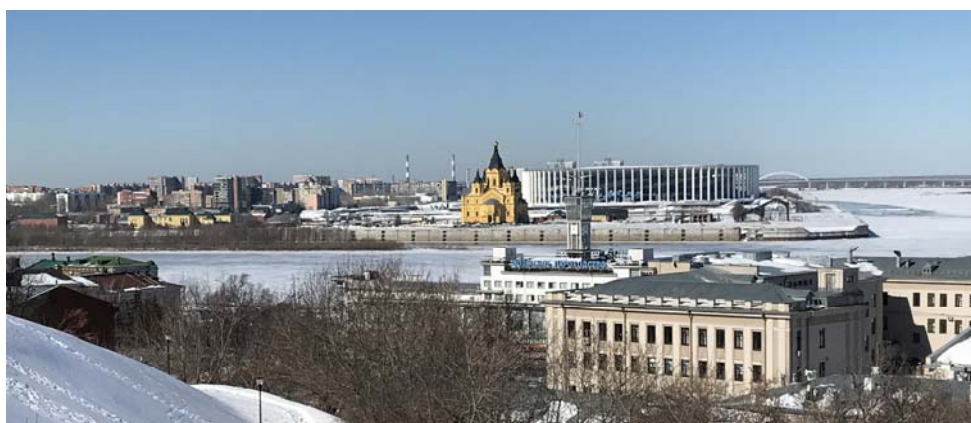


Рис. 1. Вид на Стрелку с набережной Федоровского. Фото А. Гельфонд, 2022 г.

Значительная часть площади оказалась на территории грузового речного порта, который располагался здесь с 1932 г., и отрезана от собора глухим забором. Смысловой, образный и типологический перекресток, место встречи потоков, людей, которое нельзя рассматривать в отрыве от примыкающих к нему непосредственно и визуальнo городских пространств, в то же время долго являлось автономным, закрытым. Необходимо отметить, что перенос портовых сооружений из городских центров — общий глобальный процесс, который начался во второй половине XX века и продолжается до сих пор, касается многих европейских стран. Причем это относится не только к речным, но и к морским портам. Так, анализируя изменение влияния городских систем на глобальные судоходные сети, Сесар Дюкрюэ ссылается на эссе Анны Бретаньоль (2015), в котором выявлены этапы снижения роли морских потоков для городского развития [3].

Но вернемся к Нижнему Новгороду. После выноса в 2015 г. порта на территорию Стрелки по-прежнему не было доступа, и она представлялась заброшенной и пустынной. Для анализа ее преобразований и становления как значимой рекреационной зоны города остановимся на истории проектирования здесь в течение ряда лет. В 2007 г. в проекте планировки и межевания территории «Стрелка-Сити», выполненном МП ИРГ «НижегородгражданНИИпроект», на Стрелке был впервые запланирован парк. Проект парка был разработан НПО «Архстрой» в 2009 г. Средокрестье продольных осей набережных Волги и Оки отмечалось круглой площадью, для которой позже арх. Ю. Н. Карцев выполнил проект звонницы набатного колокола. В 2013 г. АМ ННГАСУ была запроектирована Аллея Славы как первая очередь Парка Славы. Эскизным проектом была предусмотрена организация площади на

берегу, на месте слияния рек Волги и Оки и аллеи от проезда со стороны собора Александра Невского до проектируемой площади с доминантой-звонницей на оси-симметрии Стрелки и Аллеи Славы. Площадь вокруг была отведена под пространство для проведения культурно-массовых мероприятий, во время которых будет доступен обзор Нагорной части. В 2013 г. ПИ УС «Арена» был запроектирован футбольный стадион на 45 тыс. зрителей, который построен в 2018 г. В 2014 г. НПП «Архитектоника» был выполнен проект планировки и межевания, который предполагал развитие и благоустройство территории в границах улиц Совнаркомовской, Керченской, а также набережных рек Волги и Оки. В рамках проекта планировалась организация движения общественного транспорта в районе проведения чемпионата, а также создание обширной пешеходной зоны на побережье рек. В районе бывшего порта предполагалось разбить парк культуры и отдыха, а также создать бульвар, соединяющий будущий парк с территорией ярмарки.

Отдельно следует рассказать о перформансах французского художника Ксавье Жюйо — профессора архитектурной школы Пари-ла-Виллетт. В течение двух лет (2011—2012) он проводил на Стрелке со студентами фестивали ветронадувной скульптуры, используя при этом не только энергию ветра, но и энергетику этого неповторимого, тогда заброшенного, места, главная особенность которого — необозримый простор.

В 2015 г. ажурные металлические конструкции пакгаузов вдоль Волги были идентифицированы как конструкции центрального павильона XVI Всероссийской промышленной и художественной выставки 1896 г. в Нижнем Новгороде, перемещенные сюда с XV Всероссийской промышленной выставки 1882 г. в Москве. С тех пор к этому месту приковано внимание общественности. Эти несущие металлические каркасы проектировали одни из лучших инженеров страны — Г. Е. Паукер и И. А. Вышнеградский. «Уникальные конструкции на Стрелке представляют собой особую ценность. Они вобрали в себя забытую или, правильнее сказать, неведомую нам инженерную культуру, сложившуюся еще в середине XIX века» [4]. В настоящее время конструкции отнесены к вновь выявленным объектам культурного наследия (рис. 2).



Рис. 2. Пакгауз и собор Александра Невского на Стрелке. Фото А. Гельфонд, 2022 г.

В 2016 г. на кафедре архитектурного проектирования ННГАСУ был выполнен ряд курсовых и дипломных проектов, посвященных архитектурно-планировочному решению Стрелки и приспособлению для современного

использования складских сооружений. Осенью 2016 г. состоялся конкурс клаузур студентов кафедр архитектурного проектирования и дизайна архитектурной среды ННГАСУ в рамках проекта «Новая жизнь Стрелки». Главная идея всех проектных предложений: территория должна открыться горожанам, не потеряв при этом своей идентичности, вместо закрытой зоны здесь должно возникнуть общественное пространство.

В соответствии с генеральным планом Нижнего Новгорода территория Стрелки относится к следующим функциональным зонам:

- ОИ — зоны многофункциональной общественной застройки центрального исторического района, зоны охраны ОКН и зоны достопримечательных мест;
- Осп-к — зона культурно-просветительского назначения и культовых объектов;
- природно-рекреационная, Р-3п — зона парков.

Исторически этому месту присущи следующие функции: культовая — собор Александра Невского; промышленная — территория порта. Потенциальные функции: музейно-выставочная; спортивная — стадион — и все общественные функции, связанные с его обслуживанием; фан-зона ЧМ-2018 [5].

Масштаб территории Стрелки столь велик, что в случае организации здесь парка пакгаузы приобретают характер парковых павильонов. С этой позиции сохранения достойны все четыре пакгауза, как вдоль Волги — с ажурными металлическими конструкциями, так и вдоль Оки — с ранними железобетонными конструкциями: кесонированными потолками и изящными утоняющимися книзу колоннами. Сооружения были снесены в 2017 г.

С точки зрения приспособления для современного использования и функционального наполнения эти павильоны могли бы включать музейно-выставочную функцию, как с постоянной, так и с временной экспозицией. Выставочная функция как наиболее гибкая по определению подразумевает постоянную смену, поэтому предлагается как доминирующая.

Открытая экспозиционная зона Нижегородского музея науки и техники, которую предполагается соединить общественной веткой монорельсовой железной дороги с музеем науки и техники рядом с планетарием. Обновленное позиционирование Нижнего Новгорода как крупного научного, инновационного и производственного центра мирового уровня с богатыми традициями и актуальными задачами позволит осуществить [6]:

- формирование новых ОП как мест социальной активности;
- интеграцию в передовой актуальный опыт создания подобных объектов;
- выявление функционального потенциала знаковых для города мест — набережной реки Оки и Стрелки слияния Волги и Оки.

Концепция основывается на создании универсального пространства для отдыха, проведения массовых познавательно-развлекательных и творческих мероприятий, представления научно-технических достижений и экспонатов самых различных масштабов и тематик, как исторических, так и современных.

Весной 2017 г. под руководством ректора ННГАСУ проф. А. А. Лапшина была создана Экспертная комиссия по решению вопроса о приспособлении под современное использование металлических конструкций выставочных павильонов Всероссийской промышленно-художественной выставки 1896 г.

Комиссия включала несколько групп, которые работали над выявлением историко-культурной значимости конструкций, их инженерного состояния, возможностей функционального наполнения.

Было выявлено, что все металлоконструкции пакгаузов находятся в работоспособном состоянии и способны эксплуатироваться после проведения ряда реставрационно-восстановительных работ. Планировалось, что результаты работы группы и комиссии в целом должны стать основой для организации конкурса на реконструкцию территории Стрелки. Проекты, представленные на конкурс, должны:

- учитывать доминантную роль собора Александра Невского в градостроительной организации пространства: храм должен хорошо просматриваться с главных точек обзора;
- учитывать возможность организации различных функциональных зон в соответствии с Генеральным планом города — многофункциональной общественной застройки центрального исторического района, охраны ОКН и зон ДМ; зоны культурно-просветительского назначения и культовых объектов; природно-рекреационной и парковой зон;
- учитывать возможность круглогодичного функционирования территории;
- учитывать максимальное сохранение существующих зданий и сооружений, представляющих собой исторически ценные объекты, уцелевшие от периода Нижегородской ярмарки, Горьковского порта;
- на Стрелке рекомендуется сохранить Парк Славы в соответствии с утвержденными ранее Градостроительным советом Нижегородской области проектами, с организацией открытой зоны Нижегородского музея науки и техники, включающей в свою структуру размещение крупных экспонатов;
- учитывать интересы разных групп населения, в том числе МГН.

Условия конкурса, проводимого в рамках фестиваля «Эко-берег — 2017», гласили, что «территория Нижегородской Стрелки должна превратиться в благоустроенное, активно посещаемое горожанами и гостями города общественное пространство». На конкурс было представлено 56 проектов, демонстрирующих современный новаторский подход к освоению береговых территорий. Ключевые характеристики некоторых из них мы проаннотируем.

Архитектурная мастерская ННГАСУ

В состав культурно-рекреационной зоны входят музейная экспозиция в бывших пакгаузах вдоль Волги, открытая выставочная зона, подчеркнутая каналом, для сменной экспозиции вдоль Оки, павильоны мелкой торговли, прогулочная зона с озелененными бульварами и выходом к набережной. Набережная Волги сохраняет память о Горьковском речном порте в малых архитектурных формах и предназначена для прогулок и созерцания.

Кафедра дизайна архитектурной среды ННГАСУ

Главной стала идея «Живой Стрелки»: попытка возрождения оживленности и социальной значимости территории. Исторические здания подвергаются реновации и функциональной конверсии. Цель проекта — создание органичной среды для всех групп населения с помощью деревянной прогулочной аллеи, которая является связующим звеном трех зон: общественной, исторической и парковой, развивая свои «ветви» вглубь участка.

Политехника Милана, ННГАСУ, архитекторы Массимо Беллоти, Мишаил Дуцев

«Проект генерального плана возник в процессе изучения градостроительной формы Нижнего Новгорода, учитывая важность территории Стрелки и ее развитие. Относясь с уважением к историко-научным ценностям города, к его значимым элементам (прежде всего, Кафедральный собор Св. Александра Невского), взята во внимание идентичность этого места и его высокая эстетическая ценность. Объявлен конкурс на разработку концепций системы общественных пространств: искусственного холма/амфитеатра для спорта, коммерческих услуг и сервисную деятельность, включая апогей — новую гостиницу-маяк на самом верху Стрелки, созданную в стиле русского конструктивизма, включая павильоны и киоски вдоль набережной реки. В проекте использованы специальные элементы, указывающие на первоначальное назначение Стрелки — речной порт. Например, порттовые краны на берегу Волги. Офисные помещения размещены в павильонах из переработанного материала и в здании со скатной крышей, выступающей из холма. Цель проекта — стабильное начало концепции использования вторичного сырья, продвижение, энергетическое переоснащение существующих объектов наследия» [7].

Архитекторы Ю. Карцев, В. Парфенов

Создается внутренняя ось, соединяющая два доминантных объекта: Собор Александра Невского и футбольный стадион. Предлагается решение по организации шоссе с развязки на Канавинский мост на улицу Бетанкура.

НПО «Архстрой»

Со стороны Волги проектируется музей с корпусами для коворкинга, галерей, реконструируемыми пакагаузами и вновь возводимым залом. Со стороны Оки — ряды с ремесленными мастерскими, выставочными галереями и объектами питания. Линейный пологий холм обращен к природному ландшафту зелеными склонами, а стороной, наполненной функциями, — к городу. Создается система двух площадей — Пьяцетта и Стрелка.

В конце марта — начале апреля 2018 г. (26.03.18—02.04.18) состоялась рабочая поездка делегации из ННГАСУ в один из ведущих архитектурно-строительных вузов мира — Политехнику в Милане (Politecnico di Milano), Италия. Политехника занимает 9-е место из ста в мировом рейтинге профильных вузов и 5-е место в Европе. Основной целью визита стало открытие совместной выставки архитектурных проектов, посвященных вопросам реконструкции и реставрации ценного историко-архитектурного наследия, в частности реновации территории Нижегородской Стрелки, а также проведение научной конференции по данной проблематике. В выставке приняли участие около 10 проектов из Милана и 16 проектов из Нижнего Новгорода (реальные и курсовые), выполненные профессорами и студентами ННГАСУ. Одним из ключевых экспонатов стал конкурсный проект реконструкции территории Стрелки, разработанный международной командой Политехники Милана и ННГАСУ в рамках фестиваля «Эко-берег — 2017». Выставка открылась в одном из значимых центров современного искусства Европы — в Музее Триеннале. Итальянской стороной было предложено символическое название выставки «Стрелка» как образ профессиональной встречи и плодотворного сотрудничества двух вузов [8].

Экспозиция ННГАСУ представила широкий спектр научно-практических разработок: обследование состояния металлических пакгаузов на Стрелке (рук. А. А. Лапшин); проекты реставрации Кремля, особняка Бурмистровой (Литературный музей им. М. Горького), особняка Каменской Архитектурной мастерской ННГАСУ; конкурсные проекты Стрелки АМ ННГАСУ и профессоров кафедры архитектурного проектирования — практикующих архитекторов Ю. Н. Карцева, В. М. Парфенова, А. Б. Дехтяра, С. В. Норенкова; конкурсный проект студентов ДАС «Живая Стрелка», студенческие концепции и проектные предложения парка и музея науки и техники на Стрелке.

Ответная выставка проектов, посвященных развитию территории Стрелки, состоялась в мае 2018 г. в Нижнем Новгороде в Доме архитектора в рамках Международного форума «Великие реки».

В 2018 г. на Стрелке был построен футбольный стадион «Нижний Новгород» на 45 тыс. зрителей, ПИ УС «Арена», архитекторы: Д. Буш (рук. авторского коллектива), Т. Кирдина, А. Орлов, А. Заклучаев, Ю. Олофинская, Е. Иванова, Е. Пузанова, М. Нижник, Е. Бузмакова, А. Золотова, А. Цыплаков, С. Коробков; проект 2013 г., реализация 2018 г. Белоснежный прорезной цилиндр построен на художественной идее прозрачности и адресует своей аскетичной эстетикой к архитектуре советского модернизма. Фасад стадиона образован 88 трехгранными колоннами 40-метровой высоты. За колоннадой внешнего периметра читается кровля в виде набегающей волны. Архитектурный образ стадиона строится на ассоциациях с темами волжской природы — вода, необозримый простор, ветер. Это продиктовало сине-белую цветовую гамму и волнообразную форму трибун. Таким образом, проектировщикам удалось сообщить крупномасштабному сооружению максимальную легкость и воздушность.

В 2019 г. пакгаузы были освобождены от ограждающих стен и открылись во всей полноте, но об этом ниже.

В настоящее время территория Стрелки трактуется как открытое общественное пространство — многофункциональный парк. В конце 2020 г. Институтом развития городской среды Нижегородской области была разработана концепция временного благоустройства территории Стрелки, которая частично реализована в 2021 г. к празднованию 800-летия Нижнего Новгорода. В этом проекте принимали участие студенты кафедр архитектурного проектирования и ДАС ННГАСУ. Композиционное решение рекреационного пространства определяют две набережные — Волжская и Окская, задающие направление территории. При этом система благоустройства, выходящая на Оку, носит регулярный антропогенный характер, так как с набережной открываются виды на город, а развивающаяся вдоль Волги и адресующая с заволжским далям — более живописный. Таким образом, в данном случае бывшая портовая территория трактуется как рекреация.

Летом 2021 г. рядом с кафедральным собором Александра Невского по оси апсиды южного фасада храма был установлен памятник Александру Невскому (скульптор А. Н. Ковальчук) — монументальная бронзовая конная статуя на прямоугольном в плане пьедестале. Всадник словно застыл в раздумье перед красотой открывшейся панорамы Нагорной части и Кремлевского холма.

Весной 2022 г. в пакгаузы была принесена зрелищная функция. Концепция использования пакгаузов была разработана архитектурным бюро SPEECH под руководством Сергея Чобана. В одном из пакгаузов разместился концертный зал на 600 мест, в другом — выставочное пространство площадью 700 м². Металлические конструкции оставлены в неприкосновенности, под них заведены призматические объемы, включающие залы и все сопутствующие помещения. Идея неразделения внешнего и внутреннего пространства, как одна из острых идей архитектурного формирования общественных пространств [6], нашла здесь свое наиболее полное отражение. Представление, проходящее на сцене концертного зала, развертывается на фоне реки. Рассматривая выставку, зритель одновременно созерцает природу вокруг павильонов.

В конце июля 2022 г. на Стрелке началось строительство ледового дворца (ПИ УС «Арена», проект 2019 г.). В состав нового комплекса входят многофункциональная хоккейная площадка с трибунами на 12 тыс. зрителей, малая ледовая арена на 200 зрителей, спортивный зал, тренажерные залы.

Таким образом, идет поэтапное освоение территории Стрелки. Необходимо отметить, что в новейшей архитектуре и градостроительстве освоению бывших портовых территорий отводится особое место. Известные примеры — Хафен-Сити в Гамбурге как модель европейского внутреннего города XXI века, материализованный символ нового делового, социального, культурного и городского экономического прорыва*, Медиа-порт в Дюссельдорфе, Доклендс в Лондоне, старая гавань в Генуе [9] — представляют целый спектр архитектурно-градостроительных приемов их ревитализации. Подчас эти приемы во многом синонимичны, несмотря на своеобразие социально-экономических, градостроительных, природно-экологических, историко-культурных особенностей бытования каждой из этих территорий. Общей чертой является высокая степень развития бинарных оппозиций: природное и антропогенное, историческое и современное, коммуникативное и автономное, открытое и закрытое... Ряд можно продолжить. Эта двойственность, как неоднократно отмечалось автором ранее, издревле работает на деловые центры для обеспечения их жизнеспособности. Эта же двойственность присуща и общественным пространствам. Поэтому при современном освоении бывших портовых территорий сохранение этих бинарных пар является основополагающим принципом при формировании здесь новых общественных пространств.

Заключение

В заключение отметим, что в настоящее время по следам фестиваля «Эко-берег — 2017» на Стрелке формируется значимое общественное пространство. Основой его градостроительного и композиционного решения остается взаимосвязь и взаимодействие с акваторией, с одной стороны, взаимосвязь и взаимодействие с историческим центром города — с другой. Материалы конкурса, как исходные, так и итоговые проектные, помогли в полной мере раскрыться потенциалу этой территории, выявив возможные пути воплощения творческих концепций.

* HafenCity — the genesis of an idea. URL: <https://www.hafencity.com/en/overview/hafencity-the-genesis-of-an-idea.html?set=contrast>.

Плюсы. Что сложилось из запланированного:

- сложилась рекреационная функция территории;
- сложилась спортивная функция территории;
- сохранены пакгаузы вдоль Волги, которые отнесены к выявленным объектам культурного наследия;
- в пакгаузах разместилась зрелищная функция: выставочная и концертная;
- осуществляется взаимосвязь территории Стрелки с территорией ярмарки.

Минусы. Что не сложилось из запланированного:

- парк находится в стадии формирования — пока реализовано только временное благоустройство;
- ушла романтика порта, не осталось его знаков-символов;
- снесены пакгаузы вдоль Оки с железобетонными конструкциями.

Над чем предстоит работать:

- над многофункциональным наполнением территории;
- над всесезонным использованием;
- над мероприятиями для маломобильных групп населения.

Необходимо отметить, что при всей уникальности проанализированного места для регенерации территории Стрелки в Нижнем Новгороде характерными являются общие подходы к освоению бывших портовых территорий [9].

Архитектурно-типологический потенциал любого места базируется на ряде оснований. Прежде всего Нижний Новгород — город на великих реках, поэтому набережные — особые знаковые природные места для демонстрации уникальных достижений рук человека. Концептуальная связь природного и антропогенного начал является основополагающей: идея создания универсального общественного пространства, которое обладает неограниченным функциональным потенциалом и может быть востребовано сегодняшним и завтрашним адресатом.

Переход в «третье синтетическое качество» — Стрелка как целостная пространственная модель развития родовой коммуникативной функции без потери «духа» места и времени, материальное воплощение синтеза природы и истории: природное и антропогенное начала слились в некий природно-антропогенный гибрид.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gelfond A.* The territory of the Strelka of the Volga and Oka rivers in Nizhny Novgorod. Looking for the addressee // Proceedings of the 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE-2018). Pp. 337—344. URL: <https://www.atlantipress.com/proceedings/icassee-18>.
2. *Шумилкин С. М.* Нижегородская ярмарка. Н. Новгород : Кварц, 2014. 200 с.
3. *Ducruet C., Cuyala S., El Hosni A.* The changing influence of city-systems on global shipping networks: an empirical analysis // Journal of Shipping and Trade. 2016. Vol. 1. Article number 4. URL: <https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-016-0006-2>.
4. *Виноградова Т. П.* Глазами очевидца. Всероссийская промышленная и художественная выставка 1896 года. Н. Новгород : Кварц, 2016.
5. *Гельфонд А. Л.* Стрелка: функциональный потенциал места // Приволж. науч. журн. 2017. № 2. С. 213—217.
6. *Гельфонд А. Л.* Архитектура общественных пространств. М. : ИНФРА-М, 2019. 412 с.

7. *Belloti M., Comense M.* The open architectural and urban competition “The Spit in Nizhny Novgorod — a town-planning comprehension of an important urban public space” // Урбанизация в Источной и Угоической Европы (Урбанизация в Восточной и Юго-Восточной Европе). Белград : Истор. ин-т ; Нижегород. архитектур.-строит у-нт, 2019. С. 247—256.

8. *Дуцев М. В.* Архитектурная встреча в Италии: проблемы проектирования в исторической среде. Преподаватели и студенты ННГАСУ в Миланской Политехнике // Приволж. науч. журн. 2018. № 2. С. 94—98.

9. *Gelfond A.* The global and the local in the architectural formation of former port territories // Proceedings of the 3rd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (АНТИ 2021). Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Pp. 388—397.

© Гельфонд А. Л., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Гельфонд А. Л. По следам фестиваля «Эко-берег — 2017»: территория Стрелки в Нижнем Новгороде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 248—257.

Об авторе:

Гельфонд Анна Лазаревна — академик РААСН, д-р архит., проф., зав. каф. архитектурного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65; gelfond@bk.ru

Anna L. Gelfond

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

IN FOLLOWING OF THE ECO-BEREG 2017 FESTIVAL: STRELKA TERRITORY IN NIZHNY NOVGOROD

The merger of the Volga and the Oka in Nizhny Novgorod became the basis for the open architectural and urban planning competition “Nizhny Novgorod Strelka — urban understanding of an important public space” within the framework of the Eco-Bereg 2017 festival. The article analyzes which of the ideas and messages contained in the competitive projects formed the basis of modern landscaping. The history of the place, as well as the history of real and experimental design, is described in detail here. The article is accompanied by actual author’s photos.

Key words: Strelka, architectural formation, public space, warehouses.

For citation:

Gelfond A. L. [In following of the Eco-Bereg 2017 festival: Strelka territory in Nizhny Novgorod]. *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. 4, pp. 248—257.

About author:

Anna L. Gelfond — Doctor of Architecture, Professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 65, Ilinskaya st., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation; gelfond@bk.ru

УДК 712.25

Н. Г. Матовникова, А. Ю. Яковлева, Е. П. Шульц

Волгоградский государственный технический университет

**ПРОБЛЕМЫ МОДИФИКАЦИИ ЛАБИРИНТА
КАК ТРАДИЦИОННОГО АРХИТЕКТУРНОГО ПАРКОВОГО СООРУЖЕНИЯ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ ПАРКА**

Статья посвящена изучению проблем модификации лабиринта как традиционного архитектурного паркового сооружения и использования его в различных зонах парка. Рассмотрены вопросы истории происхождения лабиринта как объекта паркового строительства, изучены принципы классификации данного типа сооружений. Рассмотрены современные варианты проектирования лабиринтов в различных зонах парка. Приведены примеры использования новых строительных материалов и технологий в модифицированных вариантах лабиринтов. Изучены их некоторые конструктивные, технологические и архитектурно-композиционные характеристики. Выявлены отличия в проектировании традиционных и модифицированных видов подобных сооружений. Определены приемы использования традиционных архитектурно-композиционных принципов построения этих объектов в современных парковых сооружениях. Сделан вывод о возможности использования этого традиционного архитектурного сооружения в модифицированном виде и о том, что подобные объекты современного паркового строительства создают новую парковую среду, которая может отличаться другими, более широкими потребительскими свойствами. В целом сделан вывод о важности процессов модификации традиционных архитектурных парковых сооружений для дальнейшего их использования в различных зонах парка с целью обогащения архитектурно-планировочного решения парковой среды, формирования привлекательного и необычного образа парка, создания условий для комфортного пребывания посетителей в местах полноценного и разнообразного отдыха.

Ключевые слова: модификация, традиционные архитектурные парковые сооружения, лабиринт, трековая система, парковые зоны, парковая среда.

Строительство новых, благоустройство и реконструкция старых городских парков в России сегодня получили широкое распространение. Задачи создания комфортной, благоустроенной городской среды, проектирования и строительства общественных пространств, привлекательных для посетителей, остаются актуальными для дизайнеров, и парки играют важную роль в решении этих задач. Сегодня парки, как социально значимые городские пространства, приобретают новые потребительские свойства, становятся многофункциональными и мультисенсорными объектами городского строительства [1—5]. Современные методы планирования парка, новые виды паркового оборудования, новые строительные технологии и материалы, новая логистика, новая эстетика и новые функции городского парка — все это способствует тому, что проектирование и благоустройство парка сегодня становится все более творческим и многозадачным процессом. Парковые дизайнеры находят новые архитектурно-планировочные, дизайнерские, конструктивные и технологические решения; таким образом, привычные и традиционные парковые архитектурные формы и сооружения получают новое прочтение, видоизменяются, модифицируются и модернизируются в соответствии с требованиями времени [6, 7]. Лабиринт сегодня стал одним из таких архитектурных сооружений на территории парка, которые, сохранив первоначальную планировочную идею, видоизменились, модифицировались по другим существенным

параметрам, которые будут изучены далее. Модификацией традиционного паркового лабиринта при этом станет его преобразование, видоизменение с приобретением новых свойств.

Интересна история лабиринта как одного из древнейших архитектурных сооружений. Слово «лабиринт» происходит от греческого и означает «проходы в подземельях». Действительно, лабиринт может напоминать естественную подземную пещеру с большим количеством пересекающихся коридоров, переулков и тупиков, в которых нетрудно заблудиться. Строительство таких лабиринтов относится к древнейшим творениям человеческих рук, в том числе в виде наскальных картин, на которых изображены не сцены охоты или сражений, а идеи. Изображения лабиринтов, относящихся к этому же времени, были найдены в Северной Америке, Индии и на Суматре, а также в Европе. В целом лабиринты появились во II тысячелетии до нашей эры, они представляли собой плоские рисунки на земле или выложенные по спирали невысокие стены из камней или дерна, которые использовались для ритуальных действий. Остатки подобных сооружений встречаются по всему миру: в Скандинавии, на севере России, в Китае, Тибете, Англии, Ирландии, на юге Европы, в Перу и среди североамериканских индейцев¹. Одним из древнейших вариантов лабиринта можно считать внутреннее строение древнеегипетских пирамид, где путь от входа в гробницу фараона был проложен чрезвычайно запутанно, со множеством тупиков и ложных проходов (рис. 1).



Рис. 1. Изображение лабиринта на египетских печатях

Среди традиционных архитектурных сооружений трудно найти более загадочный тип зданий, чем лабиринты. Они притягивают, сбивают с толку, пугают и даже могут довести до отчаяния тех, кто в них оказывается. Есть много историй о лабиринтах, из которых невозможно выбраться. И даже если выход был близок, какая-то неведомая сила возвращала жертву в исходную точку. С лабиринтами связано множество легенд. Например, в европейской мифологии Дедал считается одним из первых архитекторов, он также остался в истории как строитель Кносского лабиринта на острове Крит по заказу легендарного критского царя Миноса. Согласно легенде, в глубине запутанного лабиринта, откуда невозможно было найти выход, прятался Минотавр —

¹ URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/sady-labirinty>.

URL: <http://www.berlogos.ru/article/labirint-v-arhitekture-spletenie-dorog>.

URL: https://www.buro247.ru/lifestyle/design/zigzag-iskusstva-shest-sovremennykh-art-labirintov.html?gallery=gallery-167356_620df6a4b431f&slide=5.

чудовище в облике получеловека-полуубыка. Римляне, которые открыли лабиринты позже, сочли их чем-то таинственным и романтичным. Римляне увлеклись легендой о Минотавре. Их картины и мозаики изобилуют лабиринтами. Линия пути внутри квадратного или круглого плана ведет к центральному кругу или квадрату, где сражаются мифические Тесей и Минотавр. Христиане переняли эту схему у римлян. Для них лабиринт стал символом трудной судьбы Христа и пути, который должна преодолеть душа христианина. В этом качестве, в виде мозаики, лабиринт стали изображать на полах средневековых соборов. Изображения лабиринта можно найти во многих соборах и церквях со Средневековья и до наших дней². Самый известный из них — выложенный камнем лабиринт на полу собора во французском городе Шартр (рис. 2).



Рис. 2. Изображение лабиринта в кафедральном соборе Шартра

В Европе уже давно лабиринты начали строить в садах и парках. Сначала в монастырях: их создавали из невысоких кустов тимьяна или иссопа; считается, что в таком виде лабиринты напоминали терновый венец Христа. Не совсем ясно, когда именно возникла традиция лабиринта-путаницы, но первые изображения такого сооружения датируются серединой XV века, настоящий расцвет лабиринтов пришелся на эпоху Возрождения. Под лозунгом возрождения древних традиций христианская символика была отброшена и вернулась дохристианская интерпретация этого таинственного сооружения. Садоводы эпохи Возрождения любили добавлять ко всему элемент неожиданности и помещать статую какого-нибудь монстра посреди мирной рощи — как напоминание о Минотавре. Лабиринты того времени стали трехмерными, их зеленые стены выросли и скрыли от глаз посетителя цель запутанного путешествия — Минотавра или дракона, мраморного или отделанного зеленью.

В каждой стране есть свой собственный лабиринт. В Англии это были сложные лабиринты с несколькими вариантами пути (название происходит от слова *amaze* — «поражать»). В XIII—XIX веках лабиринтами называли особый вид садовых украшений, состоящий из более или менее высоких

² URL: <http://www.berlogos.ru/article/labirint-v-arhitecture-spletenie-dorog>.

URL: https://www.buro247.ru/lifestyle/design/zigzag-iskusstva-shest-sovremennykh-art-labirintov.html?gallery=gallery-167356_620df6a4b431f&slide=5.

живых изгородей или шпалер, засаженных растениями. Садовый лабиринт становится непременным атрибутом садово-парковых ансамблей возле дворцов: новомодное развлечение появляется в Версале, в саду Тюдоров в Хетфордшире. Особого внимания заслуживает лабиринт, образованный лавровыми кустами, в доме Глендергена. Во французских садах в стиле барокко XVII века были и низкие лабиринты — декоративные клумбы, и огромные «развлекательные» лабиринты. Внутри них были спрятаны фонтаны с фейерверками и можно было устраивать приемы, как в «Саду Эзопа», разбитом Шарлем Перро в Версале в 1667 г. Здесь было 39 скульптурных групп, а общая протяженность дорожек достигала 750 м. Прогулка по такому лабиринту была интеллектуальным и физическим упражнением одновременно³.

Начиная с эпохи Возрождения лабиринты были неразрывно связаны с фигурной стрижкой зеленых насаждений. Прежде всего потому, что стрижка — это единственный способ сформировать плотную зеленую стену, живую изгородь, без которой не может быть лабиринта, а фантастические животные, которыми было принято населять лабиринты, выглядели гораздо интереснее и эффектнее в «зеленом» варианте. Стрижки были двух видов — геометрические (шары, кубы и пирамиды) и сюжетные. Из кустов могли, как в саду Палаццо Ручелаи, вырезать храм, обезьяну, осла, быка, медведя и великана. Растения, использовавшиеся для создания лабиринтов и стрижек, были в основном многолетними: жимолость, бирючина, дубровник, тис, самшит⁴. Лабиринты и топиарные стрижки резко вышли из моды в XVIII веке, когда появились английские ландшафтные сады со свободной планировкой. Но уже в XIX веке они отвоевали свои прежние позиции, а в конце XX века и вовсе начался бум лабиринтов — его спровоцировали многочисленные круги и знаки на полях, якобы оставленные инопланетянами.

Лабиринты в основном делятся на две большие группы в соответствии с отношениями, которые существуют с центром и выходом из него. Первая группа таких лабиринтов — это классический лабиринт, который заставляет вас пройти, войдя в него, все пространство, чтобы добраться до центра по одному маршруту. То есть он не предлагает возможности выбора альтернативных путей, ответвлений нет, но есть только одна входная дверь, та самая, через которую вы выходите из лабиринта. Благодаря тому, что есть только единственный путь или тропинка, по которой вы двигаетесь, заблудиться в таком лабиринте невозможно. Вторая группа лабиринтов — это лабиринты с несколькими путями, так называемые лабиринты альтернативных путей.

При прохождении через такой лабиринт вы можете следовать по правильному или неправильному пути, который может привести или не привести к выходу из лабиринта. Лабиринты этого типа начали использоваться в живых изгородях в XII веке в Англии, они были идеальным местом для свиданий; затем оттуда они постепенно распространились по всей Европе, особенно во Франции и Италии. В этом смысле выделяются лабиринтные сады

³ URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/sady-labirinty>.

URL: <http://www.berlogos.ru/article/labirint-v-arhitekture-spletenie-dorog>.

URL: https://www.buro247.ru/lifestyle/design/zigzag-iskusstva-shest-sovremennykh-art-labirintov.html?gallery=gallery-167356_620df6a4b431f&slide=5.

⁴ Там же.

Андре Ленотра в Версале [8] и сады Джероламо Фригимелики на вилле Пизани, недалеко от Венеции, в Италии [9, 10].

Сегодня это традиционное архитектурное парковое сооружение переживает новую жизнь. В целях обогащения архитектурно-планировочных решений парковой среды, формирования привлекательного и необычного образа парка, создания условий для комфортного пребывания посетителей в местах полноценного и разнообразного отдыха создаются новые варианты благоустройства парка, в том числе традиционные лабиринты. Современные лабиринты отличаются от исторических в первую очередь материалами, используемыми при строительстве. Например, мобильный надувной лабиринт — проект британского архитектурного бюро (рис. 3). Десятки туннелей и куполов предлагают посетителям погрузиться в захватывающий мир насыщенных цветов и ощущений⁵.

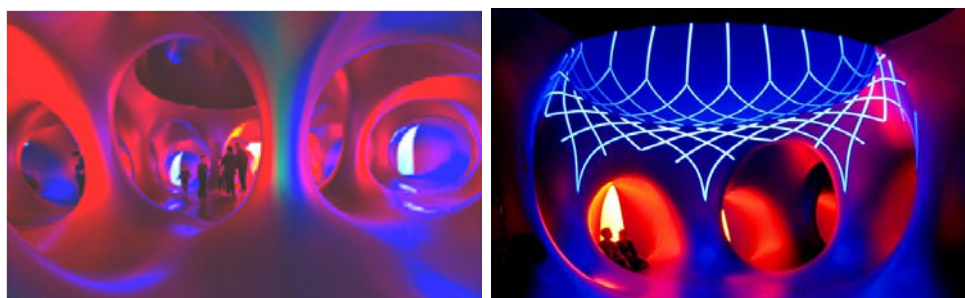


Рис. 3. Мобильный надувной лабиринт

Стеклянный лабиринт в парке Художественного музея Нельсона-Аткинса, Канзас-Сити, штат Миссури (рис. 4). Интерактивная треугольная структура представляет собой лабиринт из стеклянных плит толщиной около 2,5 см, обрамленных бронзовым контуром. Общий вес лабиринта составлял 400 т, потребовалось восемьдесят рабочих, чтобы установить его на бетонную поверхность в центре парка⁶.



Рис. 4. Стеклянный лабиринт в парке Художественного музея Нельсона-Аткинса

В парке современного искусства Пелхэм Арт-центр в Нью-Йорке была построена временная инсталляция — лабиринт молодого художника Андреа

⁵ Запутанное дело: шесть современных арт-лабиринтов. URL: buro247.ru.

⁶ Там же.

Станислав (рис. 5). Флуоресцентные ткани цвета фуксии развешаны на стальных трубах, прогулки среди них сопровождаются саундтреком к фильму 1968 г. «Чудесная стена» Джорджа Харрисона⁷.

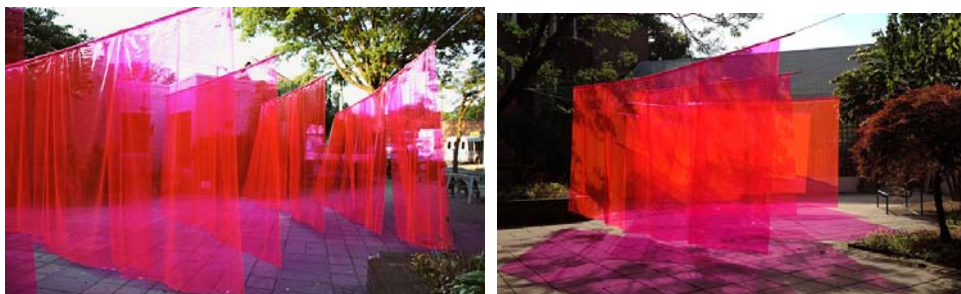


Рис. 5. Временная инсталляция — лабиринт в парке Нью Йорка

Еще одним необычным современным парковым лабиринтом является зеркальный лабиринт в Гайд-парке в Сиднее (рис. 6). Создателями этого комплекса являются специалисты новозеландского архитектурного бюро. Масштабы лабиринта поражают: в парке насчитывается 81 колонна, на каждой из которых со всех сторон прикреплены зеркала. Это означает, что каждый посетитель сталкивается с 423 зеркальными гранями. Лабиринт получил название «Поле». Окружающие деревья, зеленая трава, небо — все это многократно отражается, принося посетителям новые необычные ощущения⁸.

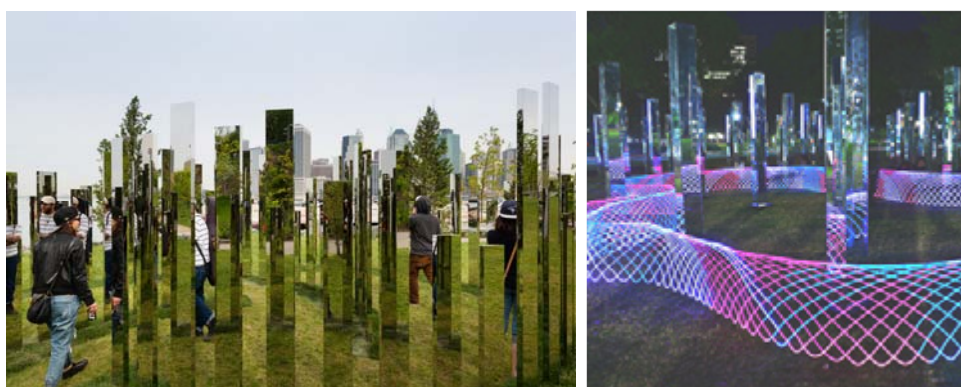


Рис. 6. Зеркальный лабиринт в Гайд Парке в Сиднее

Традиционно лабиринты в парках считаются идеальным местом для отдыха и эффективным средством психотерапии и медитации. Считается, что каждый человек вкладывает свой собственный смысл в посещение такого лабиринта⁹ [11, 12]. Но сегодня лабиринты в парках все больше отличаются от традиционных. Анализ современных парковых лабиринтов позволил нам

⁷ Там же.

⁸ Прогулка по зазеркалью: необычный лабиринт в Гайд-Парке (Сидней). URL: kulturologia.ru.

⁹ The Mankind Quarterly. Vol. 21. Verified on Sept. 11, 2018.

определить некоторые варианты модификации данного типа сооружений с появлением новых свойств:

1) использование новых нетрадиционных материалов — стекла, зеркал, декоративных панелей и т. д. (рис. 7);

2) необычные способы размещения лабиринта в парке — в центре водной глади фонтана, внутри детского игрового комплекса и т. д. (рис. 8);

3) новые функции лабиринта — устройство тихой зоны отдыха в виде лабиринта, устройство ограждений внутри детской площадки в виде лабиринта и т. д. (рис. 9).



Рис. 7. Использование нетрадиционных материалов в лабиринтах



Рис. 8. Непривычные способы размещения лабиринтов



Рис. 9. Новые функции современных лабиринтов

Таким образом, при использовании новых нетрадиционных материалов модифицированный лабиринт становится более зрелищным парковым объектом, оказывает большее психоэмоциональное воздействие, поражает воображение посетителей. Необычные способы размещения лабиринта в парке меняют его функциональные свойства, зачастую либо превращая его в чисто

декоративный объект, либо дополняя его функции, используя в качестве ограждения, для зонирования территории. В целом можно отметить, что современные дизайнеры используют прием сохранения традиционной композиции лабиринта как упорядоченной тем или иным образом планировочной структуры, изменяя при этом внешний дизайн паркового лабиринта, его декоративные и потребительские свойства, дополняя или меняя его функции.

Прием использования традиционного архитектурно-композиционного принципа построения лабиринта как организованной системы дорожек (трековой системы) сегодня можно увидеть не только в проектировании современных парковых сооружений, но и в создании целых парковых комплексов. Например, в Краснодаре был построен Парк Галицкого — проект немецкой компании GMP International. Архитектурно-планировочная композиция парка-лабиринта состоит из спиралей, изгибов и полусферических линий, что особенно заметно с высоты и при ночном освещении (рис. 10). В парке произрастает более 2500 видов деревьев, в том числе редких и экзотических. Освещение парка — неотъемлемая часть уникального проекта. Всего на территории парка расположено более 10 тысяч осветительных приборов. Специальное освещение имеет свои особенности для каждой из зон. Территория парка разделена на 30 зон отдыха на любой вкус: от прогулок с детьми и просмотра фильмов на свежем воздухе до активных занятий спортом. Среди них летний амфитеатр, лабиринты, игровые площадки, кафе, веревочный панда-парк, скейт-парк, стена для скалолазания, террасный сад, фонтан, водоемы, английский парк и многое другое¹⁰.



Рис. 10. Парк-лабиринт в Краснодаре

¹⁰ Парк Галицкого в Краснодаре. История создания и достопримечательности парка Краснодар. URL: yandex.ru.

Выводы

Исходя из всего вышесказанного, сделан вывод о том, что сегодня лабиринт используется и как традиционное архитектурное сооружение, и в измененном, модифицированном виде. Рассмотрены современные варианты проектирования лабиринтов в различных зонах парка. Приведены примеры использования новых строительных материалов и технологий в модифицированных вариантах лабиринтов. Определены их некоторые новые декоративные и функциональные свойства. Подобные объекты современного паркового строительства создают новую парковую среду, которая отличается другими, более широкими потребительскими свойствами. В целом можно говорить о важности процессов модификации традиционных архитектурных парковых сооружений для их дальнейшего использования в различных зонах парка. Это позволит обогатить архитектурно-планировочное решение парковой среды, сформировать привлекательный и необычный образ парка, создаст условия для комфортного пребывания посетителей в местах полноценного и разнообразного отдыха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Anopin V. N., Matovnikov S. A., Matovnikova N. G. The features of the establishment and maintenance of parkland in the solution of the problems of urban agglomerations in Volgograd // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 1972—1977.
2. Matovnikov S. A., Matovnikova N. G. Innovative urban planning methods for the urban landscape design in the Volgograd agglomeration // *Procedia Engineering*. Vol. 2. 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE. 2016. Pp. 1966—1971.
3. Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Павлушина Н. А. Современные подходы к проектированию городского парка как инновационной медиасреды // *Вестн. Волгогр. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2017. № 50(69). С. 390—400.
4. Матовников С. А., Матовникова Н. Г. Создание комфортной мультисенсорной среды, как актуальная проблема современного паркового строительства // *Вестн. Волгогр. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2011. № 22(41). С. 155—164.
5. Матовникова Н. Г., Борзенко С. Е., Картавецова Я. С. Проектирование городского пространства на примере скверов Волгограда // *Вестн. Волгогр. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2019. № 3(76). С. 165—172.
6. Матовников С. А., Матовникова Н. Г. Проектирование современного парка как инновационного средового объекта // *Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАрХИ : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. проф.-преподават. состава, молодых ученых и студентов*, 2018. С. 391—393.
7. Richard C. Surveying small urban spaces // *Structural Survey*. 1996. Vol. 14. No. 4. P. 20.
8. Schroeter Gothein M. L. A History of Garden Art. Vol. 2. Hacker Art Books, 1966. 486 p.
9. Santarcangeli P. The Book of Labyrinths: The History of Myth and Symbol. Vol. 17 of the Blue Library of Siruel, 2002. P. 282.
10. Пруето Н. Лабиринт виллы Пизани. URL: tectonicablog.com.
11. De Ranchin F. Labyrinthes / Edition Hatier. Coll. The pleasure of games, 1983.
12. Vass C. C. Meditative mazes. Sterling Publishing Company Inc., 2009. P. 7.

© Матовникова Н. Г., Яковлева А. Ю., Шульц Е. П., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Матовникова Н. Г., Яковлева А. Ю., Шульц Е. П. Проблемы модификации лабиринта как традиционного архитектурного паркового сооружения и использования его в различных зонах парка // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 4(89). С. 258—267.

Об авторах:

Матовникова Наталья Геннадьевна — канд. геогр. наук, доц., доц. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikova@yandex.ru

Яковлева Анастасия Юрьевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; an.yakowlewa21@yandex.ru

Шульц Евгения Петровна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; geniashultz@yandex.ru

Natal'ya G. Matovnikova, Anastasia Yu. Yakovleva, Evgenia P. Shultz

Volgograd State Technical University

PROBLEMS OF MODIFICATION OF THE LABYRINTH AS A TRADITIONAL ARCHITECTURAL PARK STRUCTURE AND ITS USE IN VARIOUS AREAS OF THE PARK

The article is devoted to the study of the problems of modifying the labyrinth as a traditional architectural park structure and its use in various areas of the park. The issues of the history of the origin of the labyrinth as an object of park construction are considered, the principles of classification of this type of structures are studied. Modern options for designing labyrinths in various areas of the park are considered. Examples of the use of new building materials and technologies in modified versions of labyrinths are given. Some of their design, technological and architectural-compositional characteristics have been studied. Differences in the design of traditional and modified types of such structures are revealed. The methods of using traditional architectural and compositional principles for constructing these objects in modern park structures are determined. It is concluded that this traditional architectural structure can be used in a modified form and that such objects of modern park construction create a new park environment, which may differ in other, wider consumer properties. In general, it was concluded that the processes of modifying traditional architectural park structures are important for their further use in various areas of the park, in order to enrich the architectural and planning solution of the park environment, form an attractive and unusual image of the park, and create conditions for a comfortable stay of visitors in places of full and varied recreation.

Key words: modification, traditional architectural park structures, labyrinth, track system, park areas, park environment.

For citation:

Matovnikova N. G., Yakovleva A. Yu., Shultz E. P. [Problems of modification of the labyrinth as a traditional architectural park structure and its use in various areas of the park]. *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. 4, pp. 258—267.

About authors:

Natal'ya G. Matovnikova — Candidate of Geographic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikova@yandex.ru

Anastasia Yu. Yakovleva — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; an.yakowlewa21@yandex.ru

Evgenia P. Shultz — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; geniashultz@yandex.ru

УДК 72.01

В. А. Самогоров, Т. Д. Журавлева

Самарский государственный технический университет

ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ НАБЕРЕЖНОЙ САМАРЫ

Рассматривается эволюция прибрежной территории реки Волги в Самаре в аспекте архитектурно-планировочной организации. Выявлены этапы формирования набережной с 1840 г. по настоящее время, анализируются проектные решения данной территории в контексте градостроительных изменений — реализации проекта Прибрежного района Самары (Куйбышева). Проводится анализ конкурсных проектов по обустройству пятой очереди набережной. Данное исследование актуально в рамках определения направления дальнейшего развития прибрежной территории в Самаре.

Ключевые слова: архитектурно-планировочная структура, набережная, прибрежная территория.

Транспортно-экономическая ситуация в стране в XIX веке определила особенности формирования прибрежных зон волжских городов. Поскольку водный транспорт был самым развитым и относительно дешевым в России того времени, промышленные предприятия в подавляющем большинстве случаев размещались в черте города у реки [1]. Самара не стала исключением: с середины XIX века на берегу Волги строятся Механический завод Бенке (1876), пивоваренное предприятие Альфреда фон Вакано (1881), крупчатая паровая мельница Башкирова (1903), мукомольная мельница Стройкова и Якимова (1903); значительная территория отведена под склад леса, амбары (рис. 1) [2]. В целом застройка береговой зоны Волги была плохо структурирована: хаотично расположены хозяйственные постройки, полицейские конюшни, разбросаны мелкие пристани [3]. Но стоит отметить, что на плане города с окрестностями, который был подробно составлен в 1894 г., от ул. Успенской (Комсомольской) до ул. Предтеченской (Некрасовской) уже отмечена набережная у реки Волги. Таким образом, именно в этом месте появилось общественное пространство, ставшее отправной точкой строительства 1-й очереди набережной. В это время утверждается функция прибрежной зоны реки Самары исключительно как коммунально-хозяйственная.

Развитие железнодорожного транспорта в стране постепенно стало оказывать влияние на распределение промышленных зон в крупных городах. Часть нагрузки с водного транспорта перешла на железную дорогу, что позволило обратить внимание на рекреационный потенциал прибрежных территорий [4]. Одной из основных проблем того времени являлось отсутствие какой-либо благоустроенной связи между застройкой у берега и центром города [5]. Следовательно, первые шаги по изменению архитектурно-планировочной структуры были направлены на оформление спуска к Волге по ул. Заводской (Венцека) в 1856 г.



Рис. 1. Функциональная схема прибрежной территории Волги в Самаре, 1840 г. (авторская графика)

Разработка 1-й очереди набережной (в границах ул. Вилоновской и Некрасовской) началась в 1930-е гг., однако в эти годы строительство не получило должного развития [6]. Проектом предполагалась организация застройки верхней и нижней террас и композиционная связь с городским парком культуры и отдыха им. Горького. Строительство прервалось по причине Великой Отечественной войны и было возобновлено лишь в 1955 г. [7]. Использование серого уральского гранитного камня для облицовки подпорной стены на протяжении 1350 м указывало на важность и ценность набережной, рассматриваемой в то время не только как гидротехнический объект, но и как благоустроенное общественное пространство (рис. 2). Проект Городского парка культуры и отдыха им. А. М. Горького был разработан в 1948 г. (архитекторы Н. Г. Теплицын, Н. В. Подовинников), парку придавалось значение верхней террасы набережной, связанной с нижней частью пешеходным мостом [8].



Рис. 2. Бульвар на 1-й очереди набережной, 1955 г. (фото с портала «Самарская губерния: история и культура»)

Дальнейшее строительство набережной на волжском берегу проходило в рамках реализации крупнейшего градостроительного проекта Прибрежного района Самары (Куйбышева) 1953 г., целью которого стало преобразование архитектурного облика, соответствующего облику социалистического города. В разработке проекта принимали участие архитекторы А. Л. Каневский, Н. В. Подовинников, И. М. Зобина, П. А. Щербачев, М. А. Труфанов и др. Главными принципами, которыми руководствовались авторы проекта, были соблюдение строгой иерархии элементов архитектурно-планировочной структуры, создание единой системы доминант и применение ансамблевого подхода. Благодаря совокупности принятых решений проект Прибрежного района был реализован в рекордно короткие сроки в 1950—1960-е гг. Проект береговой зоны Волги был утвержден в январе 1954 г. Согласно ему, главной архитектурно-планировочной доминантой Приволжского района стал ансамбль Самарской площади и благоустроенный парадный Ярмарочный спуск. В результате появилась связь центра города с набережной реки Волги, что способствовало комплексному развитию территории [9].

Центральная часть города сформирована двумя надпойменными террасами. На их основе были организованы верхняя набережная как система видовых площадок и нижняя, оформленная жилыми зданиями высотой в пять этажей. Набережная Волги стала одним из важнейших архитектурно-планировочных элементов Прибрежного района. Рельеф местности определил двухчастное строение набережной с верхней и нижней террасами, благоустроенным бульваром и видовыми площадками. В результате речной фасад города получил несколько планов восприятия: нижняя терраса с характерным ограждением, зеленый бульвар верхней террасы, застройка первой линии, выдержанная в едином стилевом оформлении, и силуэтная застройка города (рис. 3).

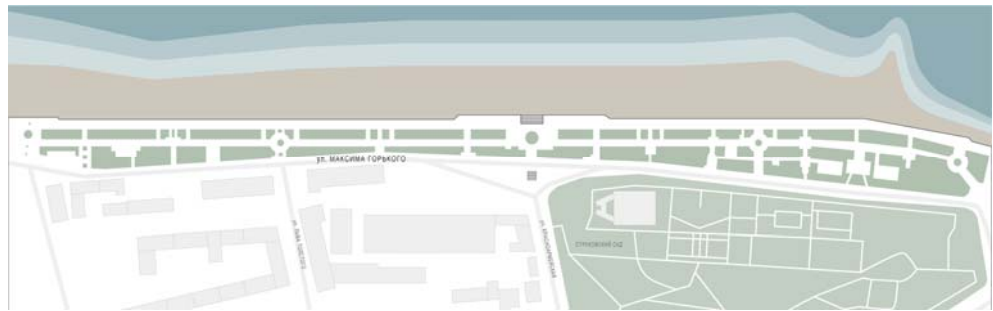


Рис. 3. Схема планировки 1-й очереди набережной в Самаре (авторская графика)

Основной планировочной осью, связывающей 1-ю очередь набережной с историческим центром, стал Красноармейский спуск (рис. 4). Широкая лестница со скульптурами по обе стороны и ступенчатыми клумбами стала композиционным центром благоустроенного спуска, реализованного по проекту М. Г. Мошковой в 1953—1954 гг. [9]. В 1952 г. было разработано оформление Куйбышевского спуска (архитекторы П. А. Щербачев, Фомин), в рамках реализации которого осуществлялось благоустройство земляного откоса у Драматического театра и площади Чапаева.



Рис. 4. 1-я очередь набережной в районе Красноармейского спуска, 1955 г. (фото с портала «Самарская губерния: история и культура») и 2022 г. (фото авторов)

В 1955 г. на участке прибрежной зоны от Куйбышевской ГРЭС до завода КИНАП началась очистка территории от застройки, состоящей преимущественно из складских сооружений с целью освобождения места под строительство 2-й очереди набережной [10]. На протяжении двух километров набережная укреплялась подпорной стенкой из сборного железобетона. Проектом предусматривалось оформление береговой панорамы жилыми зданиями высотой в пять этажей, выполненными в стиле сталинской классики.

Проект 2-й очереди набережной начал разрабатываться в 1958 г. и включал в себя организацию трех благоустроенных террас с малыми архитектурными формами, спортивными и детскими площадками, озеленением и павильонами (авторский коллектив: Н. В. Подовинников, А. В. Годзевич, М. А. Труфанов, В. Г. Каркарьян). Три уровня набережной и застройка первой линии, осуществленная в 1958—1961 гг., во многом определили характерный облик социалистического Куйбышева. Среди знаковых объектов, построенных в рамках реализации 2-й очереди набережных, выделяются гостиница «Волга» (архитекторы А. В. Годзевич, В. Г. Каркарьян) и пятиэтажные жилые здания (архитекторы В. А. Ларионов, Н. В. Подовинников, М. А. Труфанов и др.) [9] (рис. 5—7).

Определяющим событием для формирования прибрежной зоны в Самаре стало строительство нового речного вокзала у спуска по ул. Венцека в 1969—1971 гг. по проекту архитектора Ю. Когана. В 1973 г. вокзал уже полноценно функционировал. Являясь крупным транспортным объектом, новый речной вокзал стал также и центром притяжения людских потоков. С него же и началось проектирование и строительство 3-й очереди набережной — от ул. Некрасовской до складов Мешкова на улице Комсомольской [11]. К тому

времени подпорная стенка уже была возведена, начались работы по благоустройству бульвара по проекту М. А. Труфанова. Третья очередь набережной являлась одноуровневой, была запроектирована центральная зона в виде четырех фонтанов, однако реализован был лишь один из них, что нарушило симметричную композицию, задуманную изначально в проекте. В рамках реализации набережной склады Мешкова были реконструированы [10] (рис. 8—10).



Рис. 5. 2-я очередь набережной, 1960-е гг. (фото из личного архива архитектора М. А. Труфанова)



Рис. 6. 2-я очередь набережной, 2022 г. (фото авторов)



Рис. 7. Схема планировки 2-й очереди набережной в Самаре (авторская графика)



Рис. 8. 3-я очередь набережной, конец 1970-х гг. (фото из самарского интернет-журнала «Другой город»)

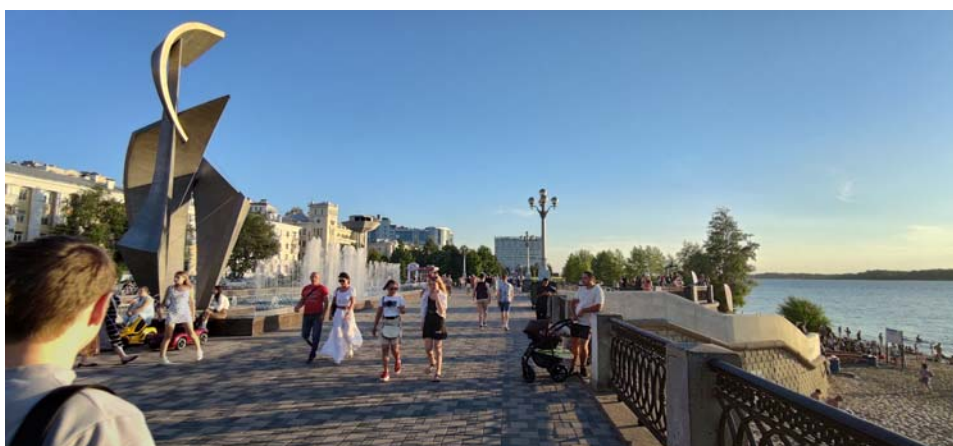


Рис. 9. 3-я очередь набережной, 2022 г. (фото авторов)

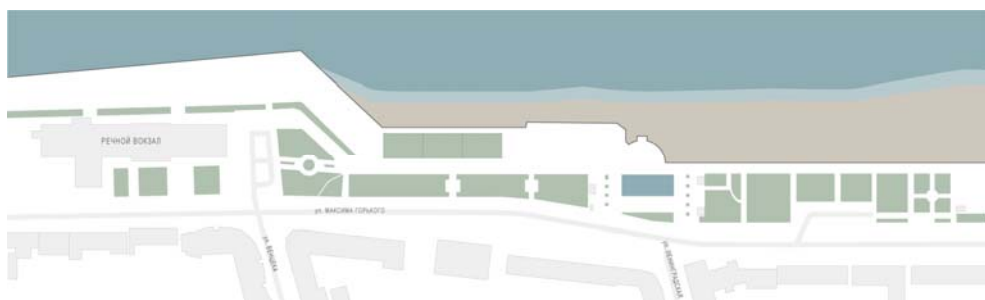


Рис. 10. Схема планировки 3-й очереди набережной в Самаре (авторская графика)

Проектные работы по 4-й очереди набережной (рис. 11—13) начались в 1980-х гг. Она формировалась от ул. Осипенко до Силикатного оврага как продолжение 2-й очереди набережной. Главное отличие этой территории — небольшая протяженность вдоль берега и наличие крутого склона, что способствовало организации нескольких террас. В 1986 г. на 4-й очереди набережной была установлена стела «Ладья», которая впоследствии стала одним из символов города, — 20-метровая скульптурная ладья с большим парусом (архитекторы И. Галахов, А. Янкин). В 2003 г. начались работы по строительству Софийского собора — одноглавого храма с шатровой кровлей (архитектор Ю. И. Харитонов). Общественное пространство набережной соединено с благоустройством территории храма, таким образом, собор стал акцентным завершением 4-й очереди [10].



Рис. 11. Территория 4-й очереди набережной, 1980-е гг. (фото из самарского интернет-журнала «Другой город»)

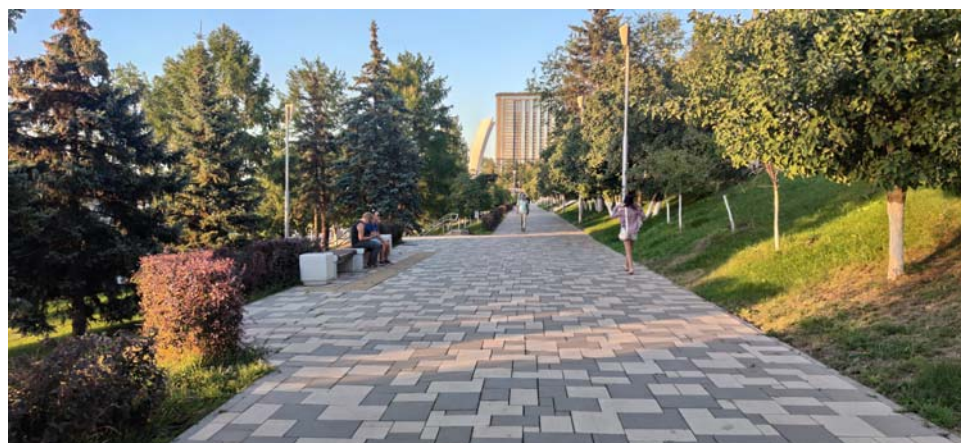


Рис. 12. 4-я очередь набережной, 2022 г. (фото авторов)

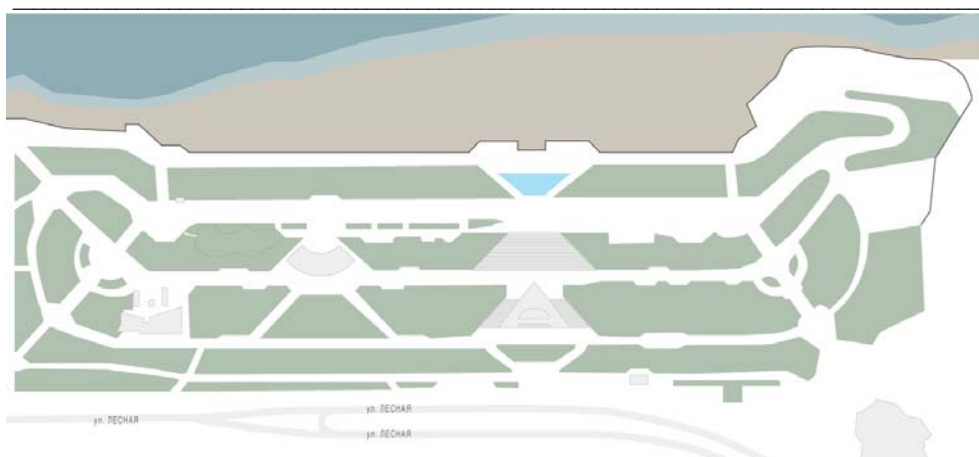


Рис. 13. Схема планировки 4-й очереди набережной в Самаре (авторская графика)

В ноябре 2021 г. был проведен конкурс на разработку 5-й очереди набережной в Самаре (рис. 14) от ул. Вилоновской до бассейна ЦСК ВВС¹. В настоящий момент место проектирования представляет собой территорию, большая часть которой закрыта для посещения, где расположены значимые для города объекты. В 1881 г. австрийским поданным Альфредом фон Вакано здесь был построен Жигулевский пивоваренный завод (архитектор А. Шлехт), определивший узнаваемый облик Самары с реки Волги. Производственный корпус завода стал объектом культурного наследия федерального значения². На участке расположена Самарская Центральная электростанция, первое здание которой было возведено в начале XX века в традициях самарской эклектики. В 1913—1920 гг. были построены еще два здания с большими пролетами, крупными витражами и фонарями верхнего света. Реконструкция станции в 1937—1939 гг. определила архитектурный облик объекта: сочетание линейных корпусов с вертикалями труб и элементами технологического оборудования. Ансамбль зданий и сооружений Самарской Центральной электростанции относится к выявленным объектам культурного значения³. Со стороны ул. Вилоновской на территории проектирования расположен комплекс зданий мукомольной паровой мельницы А. М. Эрлангера, построенный в 1860—1884 гг. и являющийся объектом культуры регионального значения⁴. В непосредственной близости от участка расположен Самарский Иверский женский монастырь, образованный в 1850—1880 гг.

¹ Открытый конкурс на разработку концепции развития Пятой очереди набережной Волги в Самаре. URL: <http://samaracontest.tilda.ws>.

² Культурное наследие Самарской области. Производственный корпус Жигулевского пивоваренного завода. URL: <https://cultnaslediesamregion.ru/index/achitecture/samara/leninski-rajon/047-f>.

³ Культурное наследие Самарской области. Ансамбль зданий и сооружений Самарской Центральной электростанции. URL: <https://cultnaslediesamregion.ru/index/achitecture/samara/leninski-rajon/108-i>.

⁴ Культурное наследие Самарской области. Комплекс зданий мукомольной паровой мельницы А. М. Эрлангера. URL: <https://cultnaslediesamregion.ru/index/achitecture/samara/leninski-rajon/141-r>.



Рис. 14. Схема участка 5-й очереди набережной в Самаре (авторская графика)

Одной из главных задач проекта 5-й очереди является создание связи между существующими частями благоустроенной прибрежной территории, обеспечивающей непрерывность набережной. Специфика данной зоны определила комплекс общих проектных решений, который был выявлен при анализе 30 конкурсных работ. Большая часть авторских коллективов, отмеченных жюри конкурса, предложила вынос променада над землей на опорах с целью сохранения естественного очертания сформировавшейся береговой линии, а также для защиты пешеходной зоны от затопления. Мостовидные конструкции позволяют сохранить природный ландшафт и организовать видовые площадки, которые будут являться местом притяжения посетителей.

Большинство проектных предложений, в том числе и призеров конкурса, выполнено с учетом сформировавшихся функциональных зон места: сохранены пристань, места сосредоточения нетронутой природы, торговые точки и ресторан у Пивоваренного завода. В ряде проектов осуществлено зонирование общественного пространства с отсылками к истории места в соответствии с промышленными объектами, расположенными на территории: Пивоваренного завода, ГРЭС на примыкающем участке и паровой мельницы на Вилоновском спуске⁵.

Выводы

С 1840-х гг. прибрежная территория Волги в Самаре (Куйбышеве) претерпела значительные изменения — от зоны размещения коммунальной и промышленной застройки до современного общественного пространства. Решения, принимаемые по этой территории, заложили основу для ее устойчивого развития: посредством организации набережной и благоустроенных спусков осуществляется связь города и реки, сформировано общественное пространство с четкой иерархией архитектурно-планировочных элементов — продольных и поперечных композиционных осей и доминант. Набережная реки Волги была реализована как основной архитектурно-планировочный элемент Прибрежного района Самары (Куйбышева). В условиях террасированного рельефа сформированы система бульваров и уникальный многоплановый фасад города, озелененная нижняя набережная, фронт застройки по

⁵ Открытый конкурс на разработку концепции развития Пятой очереди набережной Волги в Самаре. URL: <http://samaracontest.tilda.ws>.

Волжскому проспекту и силуэтный план застройки на линии водораздела рек Волги и Самары. Дальнейшее развитие архитектурно-планировочной структуры прибрежной территории планируется решить за счет строительства 5-й очереди набережной на участке между Вилоновским спуском и бассейном ЦСК ВВС, что объединит существующие части набережной и обеспечит непрерывность общественного пространства. Понимание исторического контекста места, а также учет особенностей эволюции архитектурно-планировочной структуры самарской набережной являются необходимым аспектом в дальнейшем освоении прибрежной территории с учетом ее устойчивого развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельфонд А. Л. Город у реки. Идентичное и глобальное // Приволж. науч. журн. 2017. № 4(44). С. 137—141.
2. Бальзаникова Е. М. Влияние рек на формирование промышленных территорий города Самары // Научное обозрение. 2014. № 6. С. 49—55.
3. Лекарева Н. А. Градостроительное регулирование ценных природных территорий в городе // Вестн. МГСУ. 2010. № 1. С. 28—32.
4. Полецук М. Н., Клименко И. В. Развитие общественных пространств в прибрежных зонах крупнейших городов Поволжья // Architecture and Modern Information Technologies. 2022. № 2(59). С. 225—244.
5. Литвинов Д. В. Анализ функционального зонирования прибрежных зон крупных городов Поволжья // Градостроительство и архитектура. 2011. № 3. С. 58—60.
6. Сапожникова И. В. Архитектурная энциклопедия губернского города Самара. Самара : Агни, 2008. 272 с.
7. Малышева С. Г. Исторические предпосылки и современные тенденции в развитии набережных Самары // Градостроительство и архитектура. 2019. № 2(35). С. 112—117.
8. Моргунов А. Г. От крепости Самара до города Куйбышева: заметки об архитектуре. Куйбышев : Кн. изд-во, 1986. 219 с.
9. Самогоров В. А. Проект прибрежного района города Куйбышева (1953—1960) // Архитектон: изв. вузов. 2021. № 4(76). С. 1—12.
10. Гельфонд А. Л., Ахмедова Е. А. Формирование архитектурно-пространственной структуры волжских набережных на примере Нижнего Новгорода и Самары // Архитектура и строительство России. 2015. № 7. С. 2—15.
11. Семенов С. В., Ахмедова Е. А., Волков В. И. Водные пространства как главные общественные пространства градостроительных композиций и функциональных систем крупнейших городов // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4(72). С. 86—94.

© Самогоров В. А., Журавлева Т. Д., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Самогоров В. А., Журавлева Т. Д. Эволюция архитектурно-планировочной структуры набережной Самары // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 268—278.

Об авторах:

Самогоров Виталий Александрович — чл.-кор. РААСН, канд. архит., проф., зав. каф. архитектуры, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244; samogorov@mail.ru

Журавлева Татьяна Дмитриевна — аспирант каф. архитектуры, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244; tdmzhuravleva@gmail.com

Vitaliy A. Samogorov, Tatyana D. Zhuravleva

Samara State Technical University

EVOLUTION OF THE ARCHITECTURAL AND PLANNING STRUCTURE OF THE EMBANKMENT OF SAMARA

The historical transformations of the coastal territory of the Volga River in the city of Samara are considered from the point of view of the architectural and planning organization. The article presents the stages of formation of the embankment structure from 1840 to the present, analyzes the design solutions for this territory in the context of urban development changes — the implementation of the Pribrezhny district of Kuibyshev. The analysis of competitive projects for the arrangement of the fifth stage of the embankment is given. This study is important in determining the direction of further development of the coastal area in Samara.

Key words: architectural and planning structure, embankment, coastal area.

For citation:

Samogorov V. A., Zhuravleva T. D. [Evolution of the architectural and planning structure of the embankment of Samara]. *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. 4, pp. 268—278.

About authors:

Vitaliy A. Samogorov — Candidate of Architect, Professor, Samara State Technical University. 244, Molodogvardeiskaya st., Samara, Russian Federation; samogorov@mail.ru

Tatyana D. Zhuravleva — Postgraduate student, Samara State Technical University. 244, Molodogvardeiskaya st., Samara, Russian Federation; tdmzhuravleva@gmail.com

УДК 721.012:712

И. В. Черешнев, А. А. Тисленко

Волгоградский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНОЙ СРЕДЫ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОЛГОГРАДА

Статья посвящена региональным проблемам формирования комфортной городской среды. На примере дипломного проекта, получившего диплом I степени на XXIX Международном смотре-конкурсе лучших квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству, рассматриваются основные аспекты концептуального решения интерактивных общественных пространств, расположенных на прибрежных территориях Красноармейского района Волгограда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: комфортная городская среда, концепция, интерактивное общественное пространство.

Процессы современной урбанизации обусловили необходимость исследования уровня благоустройства городов. Наиболее очевидной особенностью современной урбанизации можно считать неуклонный рост численности населения городов. Согласно исследованиям ООН, к 2050 г. большая часть населения планеты будет проживать в крупных и крупнейших городах. Для России этот прогноз имеет особое значение, так как в большинстве регионов можно наблюдать активное движение миграционных потоков из субъектов в центральные города [1—4].

Учитывая сложившиеся обстоятельства, 7 мая 2018 г. был издан Указ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1, 5—7]. На основании данного указа Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации был разработан Индекс качества городской среды с целью анализа благоустройства городского пространства и качества его окружающей среды. Оценка городов проводилась по таким критериям, как состояние жилых и общественных пространств, наличие озеленения, качество улично-дорожной сети, а также безопасность, комфортность и др. По результатам оценки был составлен рейтинг городов России с благоприятной и неблагоприятной окружающей средой. К сожалению, из 1114 городов России благоприятными считаются только 256, что составляет 23 % от общего числа [8, 9].

В результате проведенных исследований меняется отношение к проблемам формирования городской среды. Создание и поддержание комфортных условий для проживания в городах становится важной государственной задачей, решение которой приобретает особое социально-экономическое значение. Для реализации поставленных задач был разработан целый комплекс всевозможных программ, направленных на повышение комфортности проживания в городах* [10].

* Результаты оценки качества городской среды. URL: <https://индекс-городов.рф/#>.

В целях решения поставленных задач с учетом накопленного опыта реализации вышеуказанных мероприятий в составе национального проекта «Жилье и городская среда» был утвержден федеральный проект «Формирование комфортной городской среды». Целью федерального проекта является повышение индекса качества городской среды на 30 %, сокращение количества городов с неблагоприятной средой в два раза. По информации Минфина России, в 2019—2024 гг. общий объем средств федерального бюджета, выделяемых в рамках федерального проекта, будет составлять 287,8 млрд руб. [11, 12].

В городах всегда возникали центры притяжения для взаимодействия людей — рынки, площади, бульвары, набережные. Помимо практической составляющей в приобретении товаров для существования, эти пространства удовлетворяли потребности человека в общении, развлечениях, обмене новостями и психоэмоциональной энергией. Необходимость социального взаимодействия сделала создание открытых общественных пространств приоритетом в развитии городов по всему миру. «Для общемировых социокультурных процессов в настоящее время характерны такие черты, как увеличение числа городских функций, их нарастающее разнообразие» [13]. Это связано с особенностями современного городского ритма жизни, вызвавшими нехватку общения и социальную замкнутость населения.

Проблемы в реализации общественных пространств можно наблюдать во многих городах России. Так, социологическое исследование 2018—2019 гг. (проект № 18-011-00841) показало, что среди 1371 опрошенного из разных городов страны только населению мегаполисов хватает досуговых общественных пространств и они предпочитают улучшить в своих городах другие показатели комфортной жизни. Жителям малых городов, а также многих городов-миллионников для улучшения качества жизни не хватало развлекательных мероприятий, пространств для прогулок и отдыха. Так, анализ городских пространств Волгограда показал, что только 25 % от общего числа общественных пространств по качеству и перспективам социально-культурного развития являются удовлетворительными [14, 15].

Главной проблемой организации общественных пространств Волгограда является отсутствие идейной и сценарной составляющей, а также нехватка разнообразия видов времяпрепровождения. Интерактивность в парках, скверах, дворовых пространствах реализуется только единичными объектами. Городские пространства, спроектированные более 50 лет назад, успели морально устареть и утратить свою привлекательность, а более новые не приносят в среду ничего интересного и качественного.

И. Н. Етеревская в своей монографии, посвященной исследованию городских общественных пространств Волгограда, выделяет следующие архитектурно-художественные и функциональные недостатки среды [13]:

- недостаточное разнообразие вариантов плоскостных сооружений и ограждений;
- недостаточное количество водных устройств (фонтанов, декоративных бассейнов);
- несоответствие стилистике элементов архитектурной среды — дверей, входов, козырьков и других декоративных элементов;

- отсутствие грамотного расположения малых архитектурных форм;
- недостаточное количество элементов функционального оборудования среды (в том числе скамеек);
- низкие эстетические качества визуальной информации.

Нехватка комфортных общественных пространств в городе способствует снижению уровня социально-демографической активности в обществе. В парках и скверах преимущественно гуляют только родители с маленькими детьми и пожилые горожане. Молодежь и люди среднего возраста предпочитают встречаться в кафе и торговых центрах, что увеличивает уровень замкнутости населения, так как взаимодействие ограничивается только общением с персоналом и товарищами. В обществе заметно повысился уровень агрессии и раздражительности.

Различные социальные исследования показали, что люди подсознательно собираются в тех местах, где сконцентрировано большое количество людей. Общественные пространства дают намного больше возможностей для самовыражения различным социальным группам общества, чем частные коммерческие площадки [16]. В связи с тенденциями стремительного технологического роста, социально-культурными изменениями в обществе и различными экономическими особенностями во многих городах мира возникли проблемы привлекательности общественных пространств. Прогресс сформировал в людях потребность в более частом потреблении развлекательных ресурсов, а улучшение качества жизни позволило более широко и критически оценивать сформированную городскую среду. Так, общественные пространства, не имеющие исторической и социальной значимости, а также построенные без учета нынешних потребностей горожан, стали деградировать в визуальном и духовном планах. Интерактивные общественные пространства не только позволяют решить эти проблемы, но и способны давать стимул к развитию новых отношений, новых элементов культуры [16, 17].

Таким образом, изучение инновационных приемов формирования открытых городских пространств в мировой практике, а также проблем, связанных с использованием и содержанием существующих открытых общественных пространств Волгограда, определяет необходимость создания новых подходов к улучшению социального взаимодействия жителей и повышению привлекательности архитектурной среды города.

Понятие интерактивности в социологии и благоустройстве. Интерактивность — это общее понятие, обозначающее характер взаимодействия между субъектами или объектами. В социологии этот термин описывает многообразие социальных взаимодействий между людьми на разных уровнях: межличностном, групповом, институциональном. В архитектуре взаимодействие возникает между субъектом и каким-либо объектом, при котором воздействие на объект меняет условия среды, в которой находится субъект. Из этого следует, что создание интерактивных пространств с использованием определенных приемов, влияющих на психологию человека, обеспечивает взаимодействие не только со средой, но и социумом. В качестве наглядной демонстрации применения интерактивных пространств в структуре рекреационных территорий города предлагается рассмотреть пример формирования концептуального решения интерактивного научного парка «Импульс» в

Красноармейском районе Волгограда, представляющего собой синтез науки, современных технологий и популярных парковых развлечений.

Территория, выбранная для проектирования, расположена в Красноармейском районе Волгограда между бульваром им. Энгельса и Волго-Донским судоходным каналом. Участок территории проектирования находится в центральной части Красноармейского района и объединяет основные общественные пространства городского значения, расположенные между бульваром им. Энгельса и Волго-Донским судоходным каналом. Весь участок проектирования включает в себя три типа общественных пространств города — бульвар, набережную Волги и Волго-Донского судоходного канала и сквер дома культуры «Химик».

Бульвар им. Энгельса является главным функционально-планировочным и композиционным элементом проектируемой территории. Линейная структура бульвара объединила в себе основные общественные, культурные и торговые объекты города. Бульвар является основной композиционной и планировочной осью, позволяющей организовать комфортный доступ к набережной Волги, которая на сегодняшний день представляет собой участок незастроенной и неблагоустроенной территории.

Предпроектные исследования территории объекта проектирования позволили выявить целый ряд проблем, среди которых: малое количество различных видов досуга; отсутствие функциональной организации территории; отсутствие места для проведения культурно-массовых мероприятий. В то же время исследование городских пространств позволило определить достоинства данной территории: наиболее востребованное место в районе — пешеходная доступность для большей части населения города; хорошая транспортная доступность, близость к общественному центру Красноармейского района.

Таким образом, тщательный анализ архитектурно-планировочных особенностей объекта проектирования позволил сформулировать основные направления развития концепции формирования функционально-планировочной структуры интерактивного научного парка «Импульс».

1. Формирование функционально-планировочной структуры на основе сценария. Одним из наиболее важных условий создания открытых интерактивных пространств является детальное продумывание идеи и особенностей разрабатываемой среды. Необходимо учесть такие факторы, как целевые возрастные группы посетителей, комфорт, безопасность и эргономичность. Четко сформированный сценарий, включающий в себя планирование траектории движения людей, их взаимодействие со средой, вариативность использования отдельных зон и объектов, позволяет создать пространство не только интересное для посетителей, но и способствующее их социальному общению и развитию.

Концепция организации интерактивных пространств, основанных на сценарном подходе, построена на желании привить детям и подросткам любовь к науке и познанию окружающего мира, а также дать горожанам комфортное место для проведения своего досуга. В основу визуальной концепции парка «Импульс» лег образ волны как научного физического явления. Волновой процесс может иметь самую разную физическую природу:

механическую, химическую, электромагнитную, гравитационную, спиновую и др. Этот образ символизирует широту и многогранность научных направлений и явлений. В композиционной структуре в парке имеются два основных направления: продолжение бульвара им. Энгельса, завершающееся башней-доминантой, и диагональное волнообразное направление, на котором расположены четыре основные научные зоны: зона геологии, зона биологии, зона астрономии и зона физики (рис. 1).



Рис. 1. Генеральный план парка «Импульс»

Каждая зона наполнена интерактивным и научно-развлекательным оборудованием, позволяющим продемонстрировать детям те или иные научные явления. Зона физики включает в себя оборудование для воздушного хоккея, создания оптических иллюзий. Благодаря посещению данной зоны дети нагляднее поймут принцип работы маятников и противовесов, а также увидят различные электрические явления. Астрономическая зона наполнена аттракционами, позволяющими посетителям почувствовать себя настоящими космонавтами. Площадка оборудована моделями солнечной системы, специализированными экспонатами и телескопом. Зона геологии включает скалодром и скейт-площадку.

Благодаря лавовым пещерам, искусственному вулкану и гейзерам дети могут наглядно проследить все процессы, протекающие внутри нашей планеты. Биологическая площадка оснащена лабиринтом и различными тематическими экспонатами. Посетив данную территорию, посетители смогут познать богатство растительного мира, узнать лучше анатомию человека и животных

и даже провести виртуальную операцию. Такой подход к организации досуга позволяет повысить интерес жителей и туристов к посещению данного парка и наладить уровень социального взаимодействия между всеми группами населения.

2. Формирование эмоциональной атмосферы с помощью звуков, освещения, цвета. Приемы создания определенного настроения с помощью звука, цвета и освещения известны довольно давно. Их применяют не только в кино, театре и литературе. Архитектура является одной из основных отраслей, где прибегают к формированию психологического настроения людей, через незаметные на первый взгляд функции. Такой подход позволяет усилить интерес и притягательность открытых городских пространств.

В рассматриваемом проекте главным создателем настроения выступил цвет. Все крупные конструктивные элементы парка, такие как велодорожка, смотровая площадки, опоры и лестницы, было решено сделать ярко-красного цвета. Другие элементы парка имеют природные серые и песочные оттенки, выгодно выделяя цветовую доминанту. Красный цвет не только привлекает внимание к главным визуальным особенностям проекта. Он символизирует силу и энергию, динамику и радость жизни [18].

3. Применение компонентов архитектурной среды, изменяющих традиционное представлений о парковых пространствах. Одним из важных приемов для привлечения внимания людей и их взаимодействия является изменение традиционных представлений о чем-либо, т. е. новизна в реализации какого-либо знакомого всем объекта или явления. В открытых интерактивных пространствах это может быть изменение материалов, геометрии, тектоники, новая трактовка привычных функций объекта. В проекте таким объектом стала велодорожка шириной шесть метров. Для того чтобы развести потоки движения и избежать их пересечений, было принято решение поднять ее над уровнем земли, а около берега заглубить на три метра под землю, возвращая траекторию к началу движения. Такой прием вертикального зонирования позволяет не только обезопасить посетителей парка, но и сформировать социальные группы по интересам. По всей протяженности велотрека имеются лестничные спуски и подъемники для велосипедов. Дорожка служит конструктивным элементом: к ней примыкает амфитеатр и гора для лазанья, благодаря чему велосипедисты могут попасть в эти зоны. Конструкция оснащена специальными сиденьями для тех, кто хочет сделать перерыв, а под ней обустроены закрытые павильоны, в которых организованы лавовая пещера, выставки и экспериментальные зоны.

Таким образом, разведя потоки движения на разные уровни, удалось создать не только многофункциональный парковый объект, который заинтересует посетителей, но и благоприятную среду для социализации и активности населения (рис. 2).

4. Использование арт-объектов в качестве композиционных доминант. Внедрение инсталляций и различных арт-объектов в открытые общественные пространства — один из самых простых и часто применяемых способов для формирования уникальной среды благоустройства. Каждый такой объект является своеобразным «местом силы», точкой притяжения для людей из различных социальных групп. Простое желание сделать фотографию с необыч-

ной скульптурой заставляет людей общаться, договариваться и оказывать друг другу помощь. Если же точкой притяжения является объект, способный изменять условия окружающей среды и развлекать зрителя, то он может заставить целые группы людей взаимодействовать друг с другом. Установка таких объектов может в корне изменить сложившиеся условия на прилегающей территории: сделать популярным давно пустующий сквер, сформировать единый вид пространства.



Рис. 2. Два уровня движения посетителей (визуализация)

В проекте парка «Импульс» таких объектов несколько. Во-первых, у самого входа находится аллея гейзеров, при взаимодействии с которыми посетители могут наблюдать и самостоятельно вызвать процесс извержения. Такая площадка будет интересна не только детям, но и взрослым, а также будет давать дополнительную функцию для социального общения — возможность сделать запоминающуюся фотографию. Во-вторых, некоторые подпорные стены велодорожки, выкрашенные в черный цвет, предназначены для рисования. Любой желающий может поучаствовать в создании «своего» арт-объекта. Такое времяпрепровождение помогает расслабиться, наладить контакт родителей со своими детьми и познакомиться с новыми людьми. А возможность публично выразить себя через творчество поможет снизить уровень вандализма и порчи общественных пространств.

Согласно многовековому опыту и наблюдениям в области психологии, человека чаще всего заставляют обратить на себя внимание значительные по своим габаритам объекты. Такой прием позволяет не только привлечь внимание, но и выделить в пространстве акценты и доминанту по масштабному принципу. Это подсознательно формирует у людей представление о пространстве и сценарии передвижения в нем. Концентрация больших групп людей рядом с большими объектами резко увеличивается, что позволяет формировать различные виды социального взаимодействия. Ярким примером крупногабаритного объекта, оказывающего большое влияние на социальное

взаимодействие людей, являются смотровые площадки. Подобная площадка появилась в проекте парка «Импульс». Ее визуальный образ был навеян кораблями, плавающими по рекам, что обусловлено близостью Волги и канала. Возможность с высоты посмотреть на панораму города и впечатляющие размеры объекта сделают смотровую площадку интерактивным развлечением для посетителей всех социальных групп общества.

Выводы

Анализ исследований в области социологии позволил установить, что горожане нуждаются в открытых интерактивных пространствах, позволяющих реализовывать потребности в развлечениях, образовании и общении. На примере Волгограда были рассмотрены проблемы и низкое качество большинства существующих открытых территорий городской среды. При определении понятия интерактивности с точки зрения социологии и архитектуры было рассмотрено влияние общественных пространств на социальное взаимодействие между людьми. В статье на примере проекта научно-интерактивного парка были выделены приемы, с помощью которых можно создавать открытые интерактивные пространства, влияющие на социальное взаимодействие в обществе. Сформулированные методы являются теоретической базой для формирования концепции социального благоустройства интерактивных пространств, что позволит улучшить уровень качества и комфорта городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аюшеев З. Б. Анализ реализации проекта по созданию комфортной городской среды в муниципальном образовании // Столица науки. 2020. Вып. 2(19). С. 76—82.
2. Madanipour A., Knierbein S., Degros A. Public space and the challenges of urban transformation in Europe. New York — London : Routledge, 2014. 217 p. URL: https://carleton.ca/sics/wp-content/uploads/Elzanowski_Public_Space_2014.pdf.
3. Shirvani Dastgerdi A., De Luca G. Strengthening the city's reputation in the age of cities: an insight in the city branding theory // City, Territory and Architecture. 2019. Vol. 6. No. 2. URL: <https://doi.org/10.1186/s40410-019-0101-4>.
4. Denisenko E., Novikov S., Savelyeva S., Gataullina A. Reorganization of public courtyards by using the principles of greening space // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012021.
5. Kokorina O., Perov F., Mangushev R. Principles of the formation of tourism and recreation complexes (example of Rozhdestveno, Leningrad Oblast, Russia) // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. DOI: 10.1051/e3sconf/202016404018.
6. Ereemeeva A. F., Rebrova E. M., Lobanov Y. N., Rusanov G. E. Formation of innovative public spaces in railway areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 775(1). DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012014.
7. Kokorina O., Zinenkov D., Datsuk T. New public spaces as the basic nodes for development of new city areas (case study of Kronstadt, Russia) // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. DOI: 10.1051/e3sconf/202016404026.
8. Яроцкая В. В. Обустройство городского пространства или как сделать город комфортным для жизни // Global & Regional Research. 2020. Т. 2. № 1. С. 489—495.
9. Енин Е. А., Седых Ю. А. Создание комфортной городской среды и сохранение историко-архитектурного облика малых городов // Архитектурные исследования. 2020. № 2(22). С. 82—95.
10. Романенко И. И., Романенко М. И. Комфортная городская среда и ее влияние на социально-экономическое развитие региона // Инженер. вестн. Дона. 2018. № 3. С. 48.
11. Петрина О. А., Стадолин М. Е. Комфортная городская среда: тенденции и проблемы организации // Вестн. ун-та. 2018. № 6. С. 34—38.
12. Мусина Н. И. Проблемы урбанизации в контексте формирования комфортной городской среды // Вестн. ун-та. 2019. № 6. С. 27—31.

13. *Етеревская И. Н.* Региональные принципы проектирования городских общественных пространств : моногр. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 122 с.

14. *Eterevskaia I. N., Yastrebova N. A., Stetsenko S. E.* Features of the Transformation of Urban Public Spaces Based on Their Socio-Cultural Potential // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 753. International science and technology conference "FarEastCon-2019" (1—4 Oct. 2019, Russky Island, Russian Federation). IOP Publishing, 2020. Chapter 2. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757—899X/753/3/032004>.

15. *Етеревская И. Н.* Основные этапы методики комплексной оценки и преобразования городских общественных пространств // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 461—471.

16. *Киенко Т. С.* Аудиовизуальная среда южнороссийских городов глазами горожан: образование как социальная рамка конструирования пространства // Вестн. Перм. ун-та. Философия. Психология. Социология. 2019. Вып. 3. С. 429—439. DOI: 10.17072/2078-7898/2019-3-429-439.

17. *Tieben R., Sturm J. A., Bekker M. M., Schouten B. A. M.* Playful persuasion: designing for ambient playful interactions in public spaces // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. 2014. Vol. 6. No. 4. Pp. 341—357. URL: <https://doi.org/10.3233/AIS-140265>.

18. *Браэм Г.* Психология цвета / Пер. с нем. М. В. Крапивкиной. М. : АСТ : Астрель, 2009. 158 с.

© *Черешнев И. В., Тисленко А. А., 2022*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Черешнев И. В., Тисленко А. А. Применение интерактивных общественных пространств при формировании архитектурно-ландшафтной среды прибрежных территорий Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 279—288.

Об авторах:

Черешнев Игорь Владимирович — канд. архит., проф., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; tchereshnev@rambler.ru

Тисленко Анастасия Андреевна — ассистент каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Igor' V. Chereshev, Anastasia A. Tislenko

Volgograd State Technical University

APPLICATION OF INTERACTIVE PUBLIC SPACES IN THE FORMATION OF ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE ENVIRONMENT OF COASTAL TERRITORIES OF VOLGOGRAD

The article is devoted to regional problems of the formation of a comfortable urban environment. On the example of a diploma project that received a diploma of the 1st degree at the XXIX International Review-competition of the best qualifying works in architecture, design and art, the main aspects of the conceptual solution of interactive public spaces located on the coastal territories of the Krasnoarmeysky district of the city of Volgograd are considered.

К е y w o r d s: comfortable urban environment, concept, interactive public space.

For citation:

Chereshnev I. V., Tislenko A. A. [Application of interactive public spaces in the formation of architectural and landscape environment of coastal territories 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. 4, pp. 279—288.

About authors:

Igor' V. Chereshnev — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tchereshnev@rambler.ru

Anastasia A. Tislenko — Assistant of Design and Monumental and Decorative Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 72.03

П. П. Олейников, О. Г. Мельникова

Волгоградский государственный технический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРВОГО В РОССИИ РЕМЕСЛЕННОГО УЧИЛИЩА В г. ЦАРИЦЫНЕ (КОНЕЦ XIX в.)

Статья посвящена вопросам проектирования в конце XIX века первого в России ремесленного училища. Изучены предпосылки его создания, исследованы процессы обсуждения общественностью города подробностей проектирования и строительства. На основе анализа архивных документов исследованы подробности процесса проектирования, создания чертежей и разработки сметных документов. Окончательно прояснены вопросы, связанные с авторством проекта, установлено имя архитектора и выявлены особенности работы над проектом.

Ключевые слова: Царицын, министерство просвещения, ремесленное училище, архитектура, проект, смета, строительство.

Развитие российского образования в конце XIX века коснулось и уездного города Саратовской губернии Царицына. Царицынское городское самоуправление, относительно других уездных городов губернии, в конце XIX века тратило большее количество средств на народное образование [1]. Если в Аткарске на эти цели выделялась 1/8 часть городской сметы, в Петровске — 1/10 часть, в Хвалынске — 1/13, то в Царицыне расходовалась 1/5 часть сметы, т. е. около 20 %.

В России была разработана программа развития сети профессиональных учебных заведений, где особое место отводилось ремесленным училищам. Их намечалось построить в конце XIX века двенадцать, в том числе и в Царицыне. 27 сентября 1889 г. министр народного просвещения утверждает для ремесленных училищ устав, которым они должны были руководствоваться.

Государственный архив Саратовской области предоставил авторам документы, изучив которые они проследили историю создания ремесленного училища в Царицыне. 10 июня 1894 г. Отделение промышленных училищ Министерства народного просвещения направляет «господину Саратовскому губернатору» документ, в котором сообщается: «Озабочиваясь правильным развитием промышленного образования в Империи, министерство народного просвещения наметило пункты, где было бы желательным скорейшее, по возможности, открытие ремесленных училищ со слесарными и столярными мастерскими и в число таковых пунктов, между прочим, включило г. Царицын»¹. Далее министр народного просвещения сообщает саратовскому губернатору, что сметы министерства на 1895, 1896 и 1897 гг. не позволяют включить расходы на ремесленное училище Царицына за неимением средств и неясности с величиной этих расходов и что он направил попечителю Казанского учебного округа просьбу незамедлительно приступить к составлению планов и смет для ремесленного училища в Царицыне, которые еще могли быть по возможности внесены в смету 1895 г. В письме министр намекает

¹ Государственный архив Саратовской области (ГАСО). Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 001г, 001обг, 002, 002об.

губернатору на желательность привлечения местных обществ для внесения единовременных затрат на устройство ремесленного училища.

Вскоре, уже 22 июня 1894 г., попечитель Казанского учебного округа отправляет саратовскому губернатору свое письмо, в котором фактически дублирует письмо министра просвещения, но добавляет, что успех дела зависит от положительного решения городских властей по выделению надлежащего участка земли. Также сообщается, что к письму прикладываются образцы смет и планов подобного рода объектов, с просьбой поручить составление плана и сметы одному из архитекторов строительного отделения Саратовского губернского правления². В этот же день саратовский губернатор отправляет письмо царицынскому городскому голове А. М. Шлыкову с информацией, полученной от министра просвещения и попечителя Казанского учебного округа, и просьбой об отводе городского места под училище.

Александр Михайлович Шлыков в ответном письме от 27 июля сообщил, что 12 июля Дума признала учреждение в Царицыне ремесленного училища «весьма желательным»³ и определила отвести в безвозмездное пользование Министерства народного просвещения свободный участок городской земли в 1-й части города, против кварталов 140 и 149, имеющий меры: по Ленской улице и противоположной ей стороне по 40 сажень, по Бельской улице и противоположной ей стороне также по 40 сажень, а всего квадратных 1600 сажень (рис. 1).

Городской голова А. М. Шлыков 25 августа отправляет управляющему Саратовской губернией план участка, отведенного городской Думой под постройку проектируемого в Царицыне ремесленного училища (рис. 2). План составил городской инженер Ф. Эрфурт, его подпись стоит на документе, и дополнительные сведения о нем нам тоже важны.

Видимо, дела с проектированием ремесленного училища продвигаются не так быстро, как хотелось бы властям, о чем свидетельствует письмо саратовскому губернатору от попечителя казанского учебного округа от 25 октября 1894 г. с просьбой ускорить решение вопросов⁴. Через неделю, 2 ноября, строительное отделение Саратовского губернского правления направляет Саратовскому младшему архитектору Стерлигову записку: «Ввиду получения от попечителя Казанского учебного округа... строительное отделение губернского правления поручает Вам, милостивый государь, немедленно исполнить поручение сего отделения от 7 сентября сего года относительно составления проекта и смет на постройку ремесленного училища в г. Царицыне и доставить объяснение о причине медленности по сему делу»⁵. Подписал документ губернский инженер Михаил Николаевич Грудистов⁶ (рис. 3).

² ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 024, 024об, 025, 025об, 026.

³ ГАСО. Ф. 25. Оп. 1. Д. 200. Л. 129об, 130.

⁴ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 033.

⁵ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 034, 034об.

⁶ Саратовский губернский архитектор, саратовский и московский губернский инженер, архитектор Казанской церкви в Волгограде (1899).

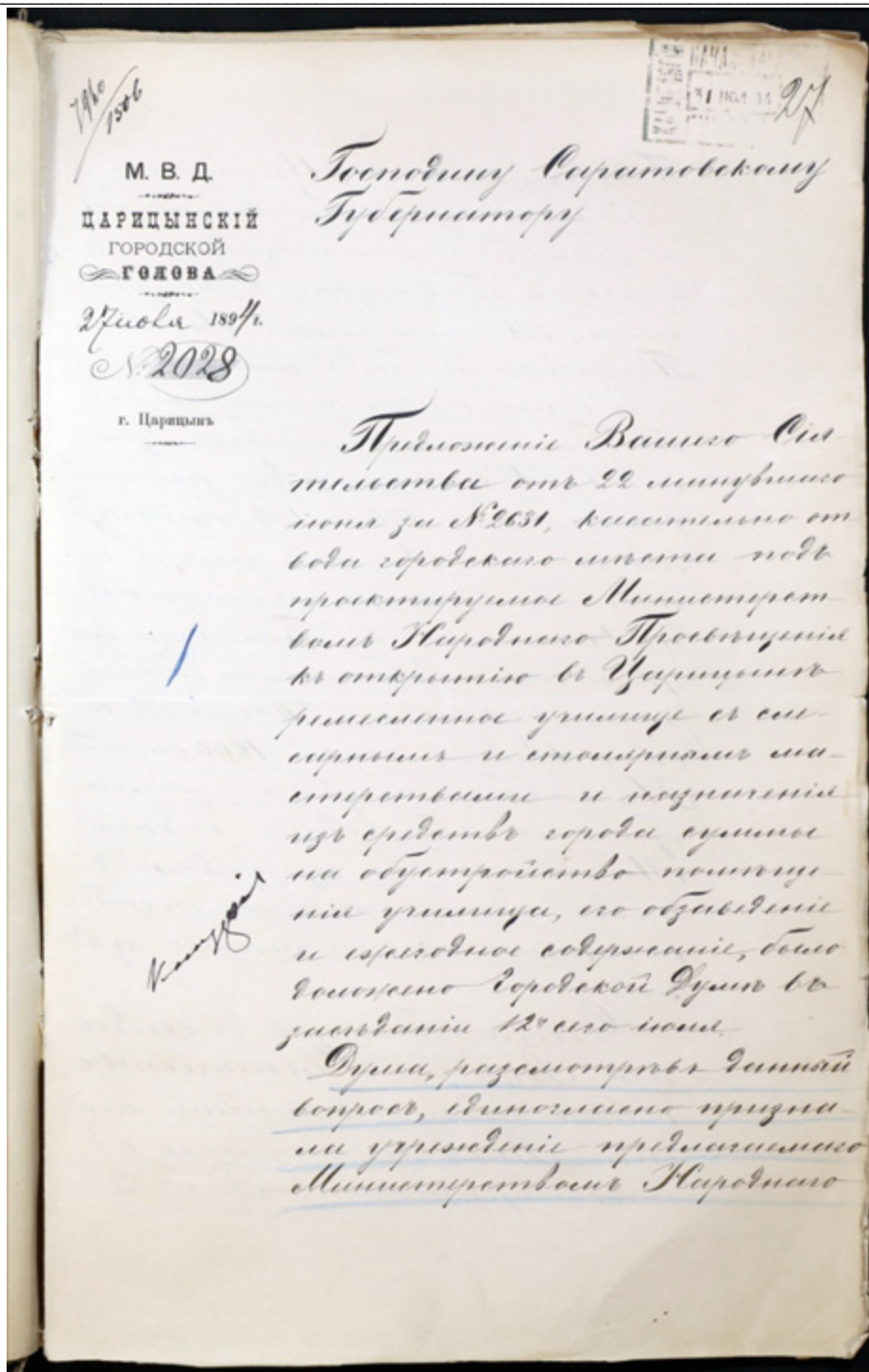


Рис. 1. Письмо городского головы Царицына А. М. Шлыкова саратовскому губернатору от 27 июля 1894 г.⁷

⁷ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 027, 027об, 028.

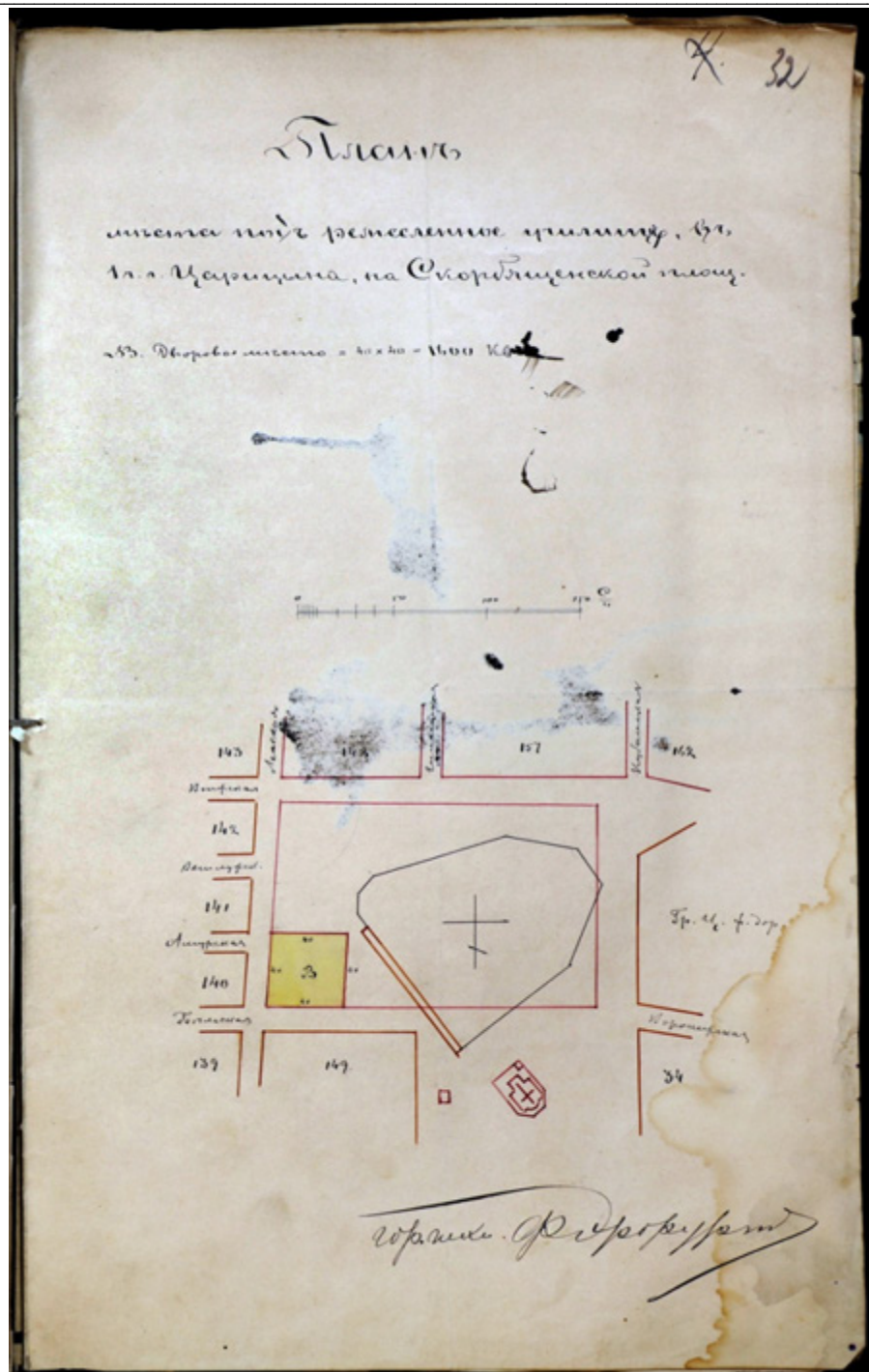


Рис. 2. План места под ремесленное училище в г. Царицыне, на Скорбященской площади. Литера «В» — дворовое место. Подпись: городской инженер Ф. Эрфурт⁸

⁸ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 031.

Этот документ для нас ценен вдвойне: наконец выясняется, что автором проекта здания царицынского ремесленного училища был саратовский младший архитектор, гражданский инженер Дмитрий Федорович Стерлигов⁹ (рис. 4).



Рис. 3. Грудистов Михаил Николаевич (1839—1914)



Рис. 4. Стерлигов Дмитрий Федорович (1855—1909)

Дело, кажется, застопорилось, так как через месяц Стерлигову вновь направляется на бланке строительного отделения письмо с теми же требованиями.

Наконец 12 декабря младший архитектор пишет рапорт в строительное отделение Саратовского губернского правления, в котором сообщает о невозможности разработать документацию в короткие сроки вследствие кропотливости труда, так как данных по размерам здания не было предоставлено, необходимо изучать смету и проектные материалы, а это по урочному положению, как известно строительному отделению, далеко не так скоро может быть исполнено¹⁰.

Далее архитектор ссылается на тот факт, что для составления сметы по готовому проекту Царицынской тюрьмы все техники строительного отделения — пять человек — принимали в ней участие и, несмотря на это, окончили работу лишь через пять месяцев. В свое оправдание Стерлигов добавляет также, что на него возложена постройка Аткарской тюрьмы и неоднократно он вызывался в суд экспертом. И все же пообещал, что поручение он исполнит не ранее 2 января 1895 г. Сразу после этого управляющий губернией

⁹ В 1882 г. он был причислен к технико-строительному комитету МВД. В 1883 г. назначен младшим инженером строительного отделения Саратовского губернского правления, с 1888 г. — младший архитектор того же правления, с 1900 г. — губернский архитектор, с 1904 г. — городской архитектор. В Саратове построил родильный дом (1903), Губернаторскую канцелярию на Вольской улице (1905 г., совместно с А. М. Клементьевым). Кроме того, Стерлиговым было построено около десяти жилых домов.

¹⁰ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 037, 037об, 038.

Высоцкий шлет телеграмму в Казань управляющему учебным округом о том, что план и смета ремесленного училища Царицына будут высланы в начале января¹¹.

Однако этим дело не закончилось, так как архитектор не предоставил документацию в указанный им же срок. И вот уже авторитетная комиссия в составе вице-губернатора Высоцкого и губернского инженера М. Грудистова на официальном бланке вице-губернатора 8 января 1895 г. направляет письмо младшему архитектору Стерлигову с требованием исполнить порученное ему дело в однодневный срок, а проверку этого поручить архитектору Ю. Н. Терликову¹². Наконец 9 и 11 января младший архитектор Стерлигов направляет в строительное отделение Саратовского губернского правления рапорты: «...имею честь предоставить составленные мною чертежи и смету на постройку каменного здания для ремесленного училища в г. Царицыне...»¹³. В тот же день младший инженер строительного отделения Ю. Биринов проверяет смету на строительство и делает положительное заключение¹⁴.

Строительное отделение Саратовского губернского правления 14 января 1895 г. рассматривает документацию на проектирование и строительство ремесленного училища в Царицыне. В конечном итоге смета на материалы и работы составила 52 999 руб. 77 коп. и на технический надзор 4 % — 2119 руб. 99 коп., а всего 55 119 руб. 76 коп.

Губернатор Саратовской губернии князь Мещерский, губернский инженер Грудистов и архитектор Тихомиров утверждают представленную документацию¹⁵ и спустя четыре дня отправляют министру народного просвещения и попечителю Казанского учебного округа доклад об окончании разработки проекта и сметы для предполагаемого открытия в Царицыне ремесленного училища¹⁶. В их адрес отправлены также и указанные документы. Через несколько дней, 27 января из Петербурга последовала телеграмма саратовскому губернатору: «Извольте сообщить, удобно ли по местным условиям и желательно ли в видах экономии здание Царицынского ремесленного училища (сделать) деревянным, каковое по закону не страхуется. Граф Делянов». Министр народного просвещения, наверное, хотел уменьшить смету на постройку. Саратовский губернский инженер подготовил саратовскому губернатору ответ такого содержания: «Во-первых, здания таких размеров не могут быть отдельными, как не соответствующие Уставу строительному. Во-вторых, здание технического училища, ввиду постановки парового котла, горнов, тяжелых машин, и деревянные (перекрытия) неудобны, так как должны в каменном здании быть проектированы металлические балки. В-третьих, экономия могла бы быть только в стенах капитальных, от замены кирпича деревом, и выразиться приблизительно % ввиду дороговизны»¹⁷.

¹¹ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 039.

¹² ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 040об.

¹³ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 041.

¹⁴ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 042.

¹⁵ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 043, 043об, 044, 044об.

¹⁶ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439.045, 045об, 046.

¹⁷ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 050, 050об.

На основании этого ответа исполняющий должность губернатора вице-губернатор Высоцкий отправляет в адрес министра народного просвещения 28 февраля телеграмму: «Деревянное здание Царицынского училища против каменного будет стоить дешевле приблизительно не более 7000 рублей. Кроме того, проектированное здание, как превышающее размеры, указанные 361 статьей строительного Устава, не может быть деревянным» (рис. 5).

Таким образом, в течение 8 месяцев, несмотря на вынужденные задержки со стороны младшего архитектора Д. Ф. Стерлигова, процесс разработки планов и смет на строительство ремесленного училища был успешно завершен.



Рис. 5. Телеграмма из Саратова министру народного просвещения¹⁸

В самом Царицыне горожане узнают о продвижении идеи постройки ремесленного училища в городе благодаря достаточно оперативной работе местной прессы. Еще в июле 1894 г. газета «Волжско-Донской листок» сообщила о предполагаемом начале его строительства с весны 1895 г., с тем чтобы через год его открыть¹⁹. Здание должно быть двухэтажным, с четырьмя классами, включая рисовальный класс. Намечалось преподавать Закон Божий, русский язык, арифметику и счетоводство, геометрию, общие понятия из физики, технологии дерева, технологии металлов, чистописание, черчение геометрическое и техническое, пение. Основной производственный профиль — столярное и слесарное ремесло.

¹⁸ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д.439. Л. 052.

¹⁹ Волжско-Донской листок. 1894. 17 июля (№ 1466).

Здесь необходимо добавить, что 14 июня 1894 г. Царицынская городская дума своим постановлением отклонила ходатайство саратовского городского головы с просьбой о выделении ассигнований средств на утверждение в Саратове технического училища, мотивировав это желанием открыть в Царицыне ремесленное училище [2].

После согласования необходимой документации строительная комиссия по постройке двухэтажного здания для ремесленного училища вызывает желающих для выполнения этого заказа сметной стоимостью 55 119 руб. 76 коп.²⁰. На торги, которые назначила строительная комиссия ремесленного училища на 25 сентября 1895 г., и на переторжку 29 сентября никто не явился. Причиной неявки называют залог, который требуется условиями подряда. Комиссия состоит из директора гимназии Д. Т. Третьякова, инспектора 4-классного училища В. П. Федорова, городского головы и городского техника Ахмакова. Подрядчик по постройке училища будет назначен министерством²¹. Как ранее планировалось, открытие ремесленного училища в Царицыне состоялось в 1896 г., 14 сентября. Это стало событием в городе, к тому же ремесленное училище стало первым из 12 намеченных к открытию. Новое здание еще не было построено, и училище открывают недалеко от стройки, в доме братьев Серебряковых. Это здание сохранилось, сейчас в нем находится средняя школа № 83 Центрального района Волгограда.

Постройка здания училища окончена лишь в начале сентября 1897 г. и обошлась в 45 тыс. руб. без надворных сооружений (рис. 6). Царицынское училище принадлежало к низшему типу технических училищ, имеющих целью исключительно образование рабочих. Сообщалось, что здание производит хорошее впечатление: комнаты просторные, светлые. Ремесленное училище стало востребованным учебным заведением, среди поступающих был конкурс, а уже через два года после открытия успешно была проведена выставка ученических работ по столярному и слесарному мастерству, а также графических работ. Лучшей работой признали письменный стол с конторкой ученика 2-го класса Петра Александрова. Отмечалось, что чистота отделки и изящество указывают в нем на заправского мастера²².

Отмечался профессиональный подход к образовательному процессу, занятия вели действительно мастера своего дела, к тому же наставники постоянно устраивали экскурсии на производство: на металлургический завод, паровую вальцевую мельницу Гергарда, завод металлических изделий Торгового дома братьев Серебряковых, лесопильные заводы наследников В. Р. Максимова.

Не остаются в стороне от повышения квалификации и наставники. Так, в Париж на Всемирную выставку 1900 г. был командирован заведующий училищем, инспектор коллежский ассессор И. Г. Воскобойников.

В 1906 г. училище причислено к училищам 2-го разряда²³. Архитектура нового царицынского здания отличалась от соседних построек центрической композицией, классическими формами фасадов, хорошо продуманным декором

²⁰ Волжско-Донской листок. 1895. 20 сент. (№ 1647).

²¹ Волжско-Донской листок. 1895. 19 нояб. (№ 1673).

²² Царицынский вестник. 1898. 19 июля (№ 180).

²³ Царицынский вестник. 1906. 3 авг. (№ 2327).

из кирпичной кладки. Атики боковых фронтонов подчеркивали строгость и одновременно торжественность входного портала. Позднее в таком же стиле был построен забор вокруг территории училища (рис. 7).

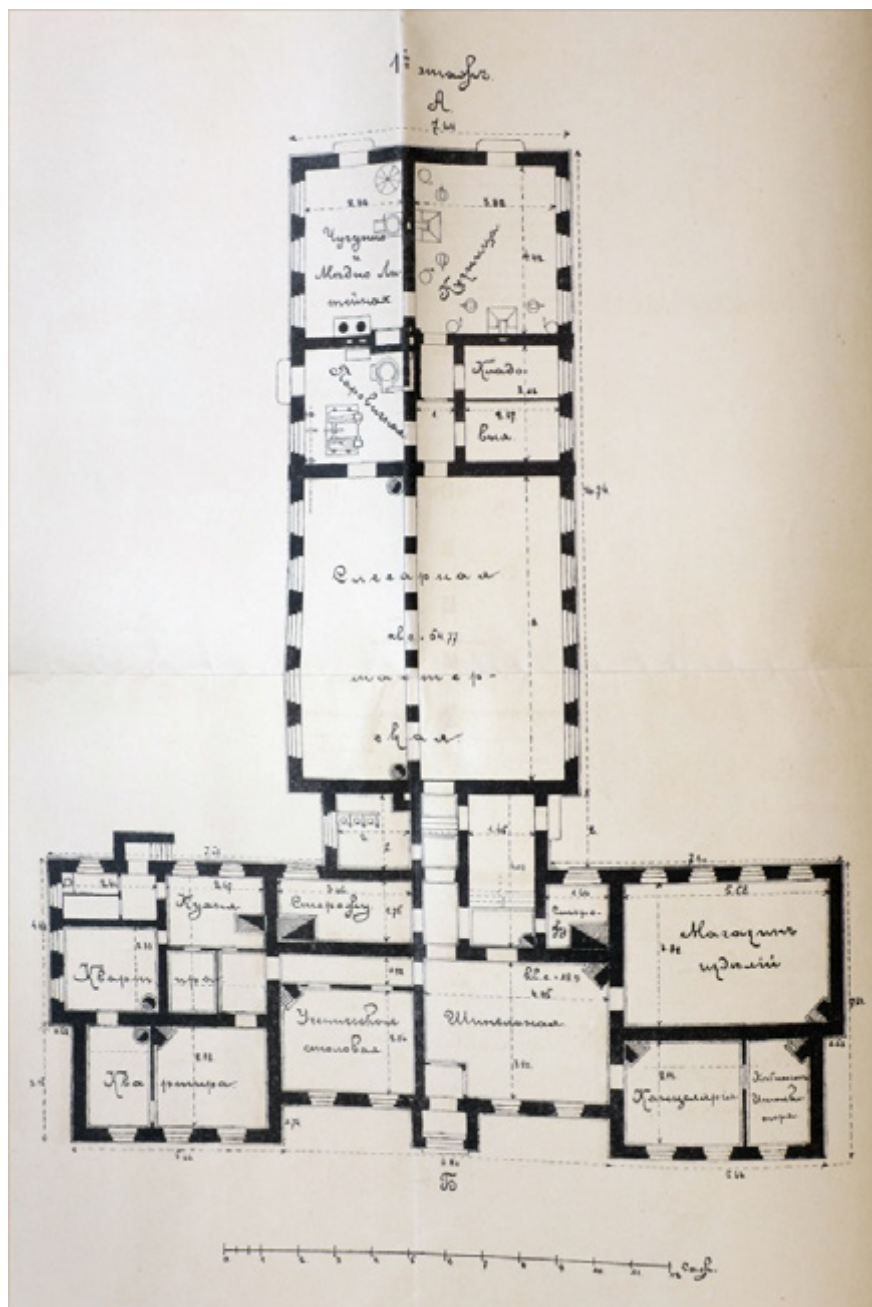


Рис. 6. Ремесленное училище в Царицыне. План 1-го этажа. 1895 г. Архитектор Д. Ф. Стерлигов²⁴

²⁴ ГАСО. Ф. 656. Оп. 1. Д. 439. Л. 031.

После революции 1917 г. училище использовалось для обучения рабочих, открылась профессионально-техническая школа им. Кулибина, а затем в 1929 г. здесь разместили судостроительный техникум. После Сталинградской битвы здание было восстановлено по проекту архитекторов Е. И. Левитана и А. В. Дроздова как кинотеатр «Победа» (рис. 8, 9), а сейчас его приспособляют под кукольный театр.

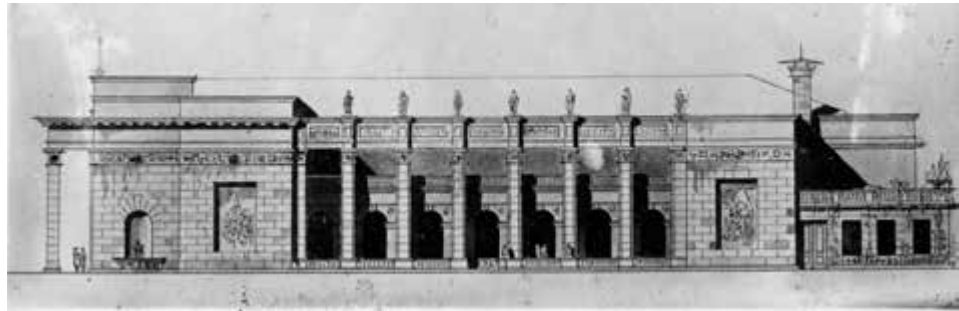


Рис. 7. Бывшее ремесленное училище в Царицыне. Архитектор Д. Ф. Стерлигов. Фото 1932 г.²⁵



Рис. 8. Кинотеатр «Победа» в Сталинграде. 1956 г. Архитекторы Е. И. Левитан, А. В. Дроздов. *Архив музея архитектуры Царицына — Сталинграда — Волгограда*

²⁵ Государственный архив Волгоградской области. Фотофонды: 0-1935.
URL: <http://saratovregion.ucoz.ru/people/science/grudistov.htm>.



Рис. 9. Кинотеатр «Победа». Боковой фасад со стороны городского сада. Эскиз. Архитектор А. В. Дроздов. 1945 г. *Фотоархив Волгоградского дома архитекторов*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Материкин А. В.* Царицынская городская дума 1870—1914 гг.: опыт функционирования городского общественного управления. Волгоград : Издатель, 2008. С. 164—165.
2. *Материкин А. В.* Очерки истории Царицынской Городской Думы. Кн. 1. 1797—1897 гг. 2-е изд., перераб. Волгоград : Арт линия, 2009. С. 383—384.

© *Олейников П. П., Мельникова О. Г., 2022*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Олейников П. П., Мельникова О. Г. Проектирование первого в России ремесленного училища в г. Царицыне (конец XIX в.) // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 289—300.*

Об авторах:

Олейников Петр Петрович — канд. техн. наук, проф., проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; poleynikov@mail.ru

Мельникова Ольга Геннадиевна — доц., доц. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; grafdesing@mail.ru

Petr P. Oleinikov, Olga G. Melnikova

Volgograd State Technical University

DESIGN OF THE FIRST VOCATIONAL SCHOOL IN RUSSIA IN THE CITY OF TSARITSYN (END OF THE 19TH CENTURY)

The article examines the issues of designing the first vocational school in Russia at the end of the 19th century. The prerequisites for its creation, discussion by the public of the city of design and construction were studied. On the basis of archival documents, the details of the design process, the creation of drawings and the development of budget documents were investigated. The issues related

to the authorship of the project were finally clarified and the name of the architect and the features of the work on the project were established.

Key words: Tsaritsyn, Ministry of Education, vocational school, architecture, project, estimate, construction.

For citation:

Oleinikov P. P., Melnikova O. G. [Design of the first vocational school in Russia in the city of Tsaritsyn (end of the 19th century)]. *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. 4, pp. 289—300.

About authors:

Petr P. Oleinikov — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; poleynikov@mail.ru

Olga G. Melnikova — Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; grafdesing@mail.ru

УДК 712.25

Б. М. Гришин^а, Д. А. Гурова^б, Ю. Б. Колышев^б, И. В. Шестопапов^б, И. И. Соколов^б

^а Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

^б Волгоградский государственный технический университет

ВОДНЫЕ КАРКАСЫ КРУПНЫХ, СРЕДНИХ, МАЛЫХ РЕК — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА В ВОЛГОГРАДСКОМ РЕГИОНЕ

Анализируется водная и ландшафтная среда территорий Волгоградской области как одна из разновидностей дальнейшего развития туристической деятельности в регионе. Определены основные виды туризма, лежащие в основе научно-познавательных, экологических, рекреационных и иных мероприятий с использованием уникальных ресурсов, которыми располагают различные реки региона. Предложен сценарий туристической деятельности с учетом акваторий крупных, средних и малых рек области.

К л ю ч е в ы е с л о в а: реки, туризм, виды туризма, природные парки.

Вопрос развития территорий регионов становится все более значимым с каждым годом. Проекты развития регионов, в том числе Волгоградской области, предписывают охват огромного количества территорий, ранее не освоенных. Долгое время регион располагает богатейшими рекреационными ресурсами, призванными сейчас стать основой туризма области.

Устраивать туристические маршруты через знаковые точки региона просто как с технической, так и с туристической точки зрения, но стоит обратить внимание на не меньший потенциал больших, средних и малых рек и их рекреации. Значимую роль сыграет развитие туризма и для жителей ближайших сел, деревень, поселков: туристические участки обеспечат работой их жителей, привлекут людей из центральных районов области для развития бассейнов рек.

Контролируемое присутствие людей на запустелых ландшафтах приведет к их облагораживанию, привлечению туристов и повышению интереса у жителей региона к окраинам области. Вся эта цепочка способствует привлечению инвестиций в регион, что является свидетельством роста экономики, на которой завязано общее благополучие региона, становясь актуальным на сегодняшний день и в перспективе.

Цель исследования — выявление туристического потенциала водного бассейна крупных, средних и малых рек Волгоградской области для развития туристической, культурно-развлекательно-экономической и логистической ситуации в регионе.

Задачи исследования:

- дать характеристику основным туристическим ресурсам водных бассейнов области;
- выделить перспективные виды туризма на различных типах рек Волгоградского региона.

Для рассмотрения туристических сценариев были изучены рекреационные ресурсы рек Волгоградского региона, преобладающие климатические условия (также формирование уникальных условий погоды), структура акваторий рек, экологическая уникальность биосферы и ландшафтов, логистический потенциал, культурная уникальность районов.

В работе использованы материалы историко-культурных планов, проектов охранных зон, планы размещения объектов культурного наследия и памятников природы Волгоградской области.

Стоит заметить принципиальную важность сохранения самобытности и уникальности природы рек наравне с осваиванием территорий. Туризм призван не просто существовать как феномен на определенной местности, а в первую очередь служить способом популяризации и концентрации внимания на проблемах ценности объектов туризма. Следовательно, сначала стоит рассмотреть в целом всю речную систему Волгоградской области, акцентировать внимание на всех типах рек и на том, чем они располагают для развития региона, в частности туризма.

Рассмотрение речной системы начинается с определения основы речной сетки региона.

Туристско-рекреационный потенциал представлен прежде всего водными ресурсами (около 200 рек различной величины), крупнейшими из которых являются реки Волга, Дон, Хопер, Медведица и Ахтуба, а также Волгоградское и Цимлянское водохранилища, и семью особо охраняемыми природными территориями регионального значения (рис. 1) — природными парками общей площадью свыше 600 тыс. га («Усть-Медведицкий», «Цимлянские пески», «Эльтонский», «Щербаковский», «Донской», «Нижнехоперский» и «Волго-Ахтубинская пойма», которая включена во всемирную сеть биосферных резерватов ЮНЕСКО)¹.



Рис. 1. Особо охраняемые территории Волгоградской области. Природные парки: 1 — Волго-Ахтубинская пойма; 2 — Донской; 3 — Нижнехоперский; 4 — Усть-Медведицкий; 5 — Цимлянские пески; 6 — Щербаковский; 7 — Эльтонский

¹ Об утверждении концепции развития внутреннего и въездного туризма в Волгоградской области на период до 2020 года: постановление от 5 июня 2015 г. № 295-п. URL: <https://docs.cntd.ru/document/428562987>.

Рассматривая речную сетку региона, необходимо остановиться на том, что в терминологическом смысле представляют собой большие, средние и малые реки. Вода в реке частично пополняется за счет дождей, выпадающих на ее территории, которую называют бассейном. Классификация рек выглядит следующим образом: большие реки имеют бассейн более 50 000 км², средние — 3000...50 000 км², малые — менее 2000 км². Большие реки протекают по нескольким гидрогеографическим районам, средние — по одному, те и другие — равнинные.

Основываясь на данной классификации, крупными реками, протекающими по территории Волгоградского региона, можно считать следующие: река Волга (вся длина 3630 км), по территории области — 318 км; Дон (1870 км), по территории региона — 537 км; Хопер (979 км), по территории области — 325 км, является левым притоком Дона; Медведица (745 км) — 416 км по области, крупнейший приток Дона; Ахтуба — 537 км, левый рукав Волги.

К средним и малым рекам относятся: Иловля с длиной по Волгоградской области в 300 км; Бузулук — 314 км, левый приток Хопра; Чир — 317 км, впадает в Дон; Еруслан — 277 км, является левым притоком Ахтубы; Цимла — длина по области 168 км; Аксай-Есаульский — 170 км; Арчеда — 165 км.

Если рассуждать именно о сценариях туризма, то не стоит ограничиваться только одним видом спорта или достопримечательностью, говоря о туризме на реках Волгоградской области. Большинство рек области протекает по территории охраняемых природных зон².

Дадим краткую характеристику основных туристических ресурсов водных бассейнов и прилегающих территорий Волгоградской области.

Начнем с природного парка «Нижнехоперский» (рис. 2), расположенного в западной части Волгоградской области на территории трех административных районов: Кумылженского, Алексеевского и Нехаевского. Площадь парка составляет 231 тыс. га.

Территория парка представлена уникальным комплексом, в котором ключевое значение имеет река Хопер. Она является формообразующим фактором рельефа местности. Условно парк разбивается на две части: правобережную, расположенную на юго-восточной оконечности Калачской возвышенности, и левобережную, расположенную на Хоперско-Бузулукской равнине [1].

Хопер считается самой чистой рекой Европы. В его акваторию входят следующие притоки: Бузулук, Кумылга, Тишанка, Акишевка и множество родников с чистой питьевой водой. За каждым поворотом Хопра открываются живописные пейзажи с пойменными озерами и старицами.

Суть парка составляют огромные массивы пойменных лесов и лугов в долине Хопра, просторы разнотравно-ковыльных степей, многочисленные байрачные леса и самая южная в области нагорная дубрава с дубами 200—700-летнего возраста, кумылженские пески, богатые исключительными

² 25 главных рек Волгоградской области. URL: <https://must-see.top/reki-volgogradskoy-oblasti>.

растительными семействами, покрытые культурами сосны и березовыми колками в межбарханных понижениях³.

Учитывая все вышеперечисленные особенности территории природного парка, организованы эколого-туристические маршруты для ознакомления с памятниками природного и культурно-исторического наследия, с фольклорно-этнографическими традициями Нижнехоперского региона, предусмотрены эколого-просветительская и природоохранная работа, экологический мониторинг динамики развития природной среды, укрепление научно-познавательного и литературно-краеведческого туризма [2].



Рис. 2. Природный парк «Нижнехоперский»

На данный момент существует шесть основных туристических маршрутов, таких как автомобильные и пешие прогулки и водный сплав на байдарках от ст. Слащевской до ст. Букановской [3].

Природный парк «Усть-Медведицкий» (рис. 3) находится в Серафимовичском районе, занимая рекреацию в 60 га лесных массивов и степей, располагает уникальными ландшафтными комплексами и водными ресурсами рек Дон (70 км по территории парка) и Медведица (около 45 км). Основную территорию парка занимает лесистая местность, что предполагает богатое развитие флоры и фауны парка⁴. Дон делит территорию района на две части: правобережье представлено горами и степями, оно изрезано балками и овра-

³ Красная книга Волгоградской области. URL: <https://oblkompriroda.volgograd.ru/other/redbook/redbook/index.php-art=02-02.txt.htm>.

Природный парк Нижнехоперский. URL: http://lib.volsu.ru/eco/index.php?option=com_content&view=article&id=50:nizhnehoperskij&catid=14:2011-09-15-07-58-59&Itemid=18.

Об утверждении Реестра туристических маршрутов, действующих на территории природных парков Волгоградской области : приказ Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области от 17.01.2020 г. № 147-ОД.

⁴ Природный парк «Усть-Медведицкий». URL: <https://www.serafimovich.org/priridniiparkum/138-prirodniiipark.html>.

гами, и левобережье, наполненное озерами, малыми реками, лесами и Арчединско-Донскими песками. Под пологами дубрав находятся различные родники, снабжающие водой всю округу⁵.



Рис. 3. Природный парк «Усть-Медведицкий»

Парк «Усть-Медведицкий» известен достопримечательностью: это 100-метровые обрывы на правом берегу Дона, многим туристам знакомо и Княжеское озеро. По территории природного парка протекает река Протока, отделяющая лесные массивы от пустынной зоны, на территории которой есть настоящие барханы высотой 5...6 м. В низинах лесов растут березовые и ольховые рощи. Эту охраняемую территорию называют краем бегущих вод, состоящих из величественного Дона, Хопра, Медведицы, Протоки, а также многочисленных озер и стариц.

Говоря о ботаническом достоянии парка, стоит отметить наличие почти 300 видов растений, таких как орхидеи, пальчатокоренник мясокрасный и пальчатокоренник Фукса, а также ятрышник шлемоносный, любка двулистная, прострел луговой, василек Дубянского, лук савранский, плаунок заливаемый, водяной орех. В пойме Дона, в ольшаниках, можно встретить и редкие виды папоротников, а также красивейшие кувшинки белые. Рассказывая о фауне, стоит отметить богатый потенциал для охотничьего туризма: данный парк является местом обитания многих характерных животных биологического фонда Волгоградской области: зайцев, волков, лис, косуль, лосей, выхухолей. Виды птиц представлены белым лебедем, рыбным филином, орланом-белохвостом, дрофой, стрепетом, сапсаном⁶.

Существует несколько сплавных маршрутов по рекам Дон, Медведица и Хопер продолжительностью от двух до пяти дней, которые организуются на

⁵ Природный парк «Усть-Медведицкий». URL: <https://www.welcomevolgograd.com/visit/parki/prirodnyu-park-ust-medveditskiy>.

⁶ Природный парк «Усть-Медведицкий» URL: <http://vetert.ru/rossiya/volgogradskaya-oblast/sights/48-prirodny-park-ust-medvedickij.php>.

малых судах с ночевкой в палаточном городке. Основной целью этих маршрутов является обзорная экскурсия по городу Серафимовичу и прилегающим живописным окрестностям⁷. Работают велосипедные маршруты, оборудованы места для рыбной ловли и отдыха.

Природный парк «Цимлянские пески» (рис. 4) находится в районе Доно-Цимлянских песков, с востока и юго-востока он выходит на берег Цимлянского водохранилища, его площадь равна 69,2 тыс. га. Водные ресурсы природного парка «Цимлянские пески» представлены непосредственно водохранилищем, а самой крупной протекающей рекой парка является левый приток Дона Аксенец, протекающий по северной границе парка. Правый приток Дона — это малая река Цимла. Парк расположен в юго-западной части Волгоградской области, в Чернышковском районе, и основная направленность парка — природозащитная⁸.



Рис. 4. Природный парк «Цимлянские пески»

Учеными областного центра во время биологической экспедиции в парках была зафиксирована группа природных озер с повышенным содержанием пищевой соды в их водах.

В водный каркас этой природоохранной территории необходимо включить и Цимлянское водохранилище, появившееся в процессе строительства Цимлянской ГЭС на реке Дон в середине XX века, поражающее своими размерами. Его акватория имеет площадь 2700 км², средняя ширина водоема 12 км (наибольшая 30 км), общая длина Цимлянского моря 260 км, в Волгоградском регионе расположена его большая часть.

Территория парка имеет естественный природный равнинный наклон с севера на юг. Основными формами рельефа стали бугры и гряды, чередующиеся с понижениями, в которых расположены островки естественных лиственных лесов с преобладанием березы, осины, тополя, ракатника русского (колки)⁹.

Рекреационные ресурсы представлены практически всеми видами растительных и животных сообществ, характерных для легких песчаных почв юга России. Треть территории парка занята разнотравно-ковыльно-типчачковыми

⁷ Природный парк «Усть-Медведицкий». URL: <http://oblkompriroda.volgograd.ru/other/photography/parks/ust-medveditskiy.php>.

⁸ Река Аксенец (Аксененц). URL: <http://textual.ru/gvr/index.php?card=171456>.

⁹ Природный парк «Цимлянские пески». URL: <http://oblkompriroda.volgograd.ru/other/photography/parks/tsimlyanskie-peski.php>.

и полынными степными фитоценозами. Исключительностью парка является сочетание типчаковых степей и песчаных барханов, пойменного и байрачного леса, прибрежного комплекса Цимлянского водохранилища. Фауна представлена животными, характерными для степной и лесостепной зоны. В заездах можно встретить цаплю, фазана, утку и др.¹⁰.

В целях обеспечения рекреационных потребностей населения на территории Тормосиновского лесничества природного парка площадью 8,8 га обустроено место массового отдыха, ставшее туристическим лагерем «Клинка», расположившимся в живописнейшем месте на побережье Цимлянского водохранилища. Палаточный городок принимает рекреантов с конца мая до середины сентября с остановкой на ночлег. Для осуществления естественной потребности позагорать и искупаться рекреантам предлагаются беседки-бунгало для отдыха. Предоставляется возможность на обустроенных территориях поиграть в футбол, пляжный волейбол и другие подвижные игры. Организуются гонки на гидроскутерах, работают водные аттракционы, лодочные поездки на любительскую рыбалку, устраиваются соревнования по сбору грибов. Желаящим устраиваются джип-сафари. В пешеходные странствия с познавательным подтекстом приглашаются пройти по таким историческим маршрутам, как «По тропам староверов», «В поисках хазарского Саркела». Предоставляется возможность поучаствовать в длительных конных переходах.

Следуя вышеизложенному, стоит рассмотреть виды туризма, которые могут предполагаться на всех типах рек Волгоградского региона, и провести параллели между перечисленными видами деятельности, классифицируемыми по виду использования природных ресурсов, и рассмотренными нами территориями.

Паломнические походы связаны с посещением природно-исторических объектов [4]. Данная возможность имеется в парках «Усть-Медведицкий» (посещение Спасо-Преображенского монастыря, в частности «камня Богородицы») и «Цимлянские пески» (располагает большим количеством святых источников).

Этнокультурный туризм предполагает демонстрацию многонациональности и многокультурности нашей страны, в частности региона. Жители приречных поселений готовы продемонстрировать свой уклад жизни, традиции и обряды повседневной жизни. К примеру, в парке «Нижнехоперский» можно окунуться в первозданную культуру казачества, рассмотреть казачий быт и его особенности.

Экологический туризм — это в первую очередь посещение уникальных природных объектов, мест и достопримечательностей. Данный вид туризма носит также практический характер, побуждая людей к природоохранной деятельности. Этими ресурсами располагают все описанные выше парки и их водные системы. В парке «Нижнехоперский» можно посетить ледниковый валун, в парке «Усть-Медведицкий» — дубы-патриархи, на территории парка «Цимлянские пески» обитает малочисленное стадо одичавших лошадей.

Купально-пляжный туризм предполагается в виде отдыха на пляжах и берегах рек с устроенными пляжными развлечениями: тарзанки, надувные батуты и т. п. Он возможен во всех перечисленных выше парках, так как

¹⁰ Природный парк «Цимлянские пески». URL: <https://www.welcomevolgograd.com/visit/priroda/prirodnyy-park-tsimlyanskiespeski>.

южный регион и большое количество песчаных почв располагают к устройству отдыха такого рода. Также Цимлянское водохранилище располагает пляжем с ракушечником и лазурным берегом.

Класс научного туризма сочетает в себе виды биологического, палеонтологического, археологического, спелеологического научного туризма. Также он с помощью просветительских мероприятий влияет на экозащитную сознательность туристов. Сам факт природных парков говорит о том, что там предполагается уникальность природных, ландшафтных и прочих особенностей, достойных научного внимания (Нижнехоперский парк располагает Шакинской дубравой, Усть-Медведицкий парк сочетает в себе степную местность с уникальными природными комплексами, такими как природа реки Протоки, Цимлянские пески изобилуют краснокнижными растениями).

Класс водного туризма градируется по уровню сложности и опасности. Популярные виды водного спорта на данный момент представлены сплавами на плотах и байдарках, парусным и водным мотоспортом, экскурсионными маршрутами на различных видах водного транспорта (маломерные суда, суда на воздушной подушке и т. п.), катанием на сапах и водных лыжах и т. д. Реки парка «Нижнехоперский» предлагают байдарочный сплав; парк «Усть-Медведицкий» хорошо посетить для прогулки на малых судах, сплавов на плотах и сапах; в природном парке «Цимлянские пески» можно также заняться прогулкой на моторных лодках и сапах.

Класс спортивного и приключенческого туризма включает в себя различные виды спорта любительского и экстремального характера, такие как вело- и мототуризм, походы и полосы препятствий, длительные забеги по пересеченной местности вдоль речных рукавов и т. д. Для этого вида туризма пригодны территории прибрежных частей парков, что позволяет не только приобщаться к спорту, но и наблюдать живописные степи.

Рыбалка и охота могут быть представлены рекреационными ресурсами с богатой палитрой животного мира [5]. Ей обладает каждый из названных парков с их водной структурой. Ограничения действуют лишь в рамках законов Российской Федерации и охраны природных парков, требующих специальных разрешений для охоты и рыбалки.

Следует отметить, что успешность рекреационной деятельности природных объектов во многом зависит от усовершенствования контроля над состоянием природной среды. Рекреационные территории должны быть защищены от загрязнения их различными предприятиями [1].

Выводы

В ходе исследовательской работы проведена систематизация данных обо всех типах рек в основных природных парках Волгоградской области в направлении туристического развития региона.

Практическая ценность заключается в том, что природные парки и территории различных типов рек нуждаются в охране их естественного природного достояния, так как они располагают большим ландшафтным, а соответственно, и туристическим потенциалом, что предполагает организацию комплексных мероприятий по восстановлению водных и растительных ландшафтов.

Определены виды туристической деятельности, возможные на территориях, прилегающих к малым рекам Волгоградской области.

Реки Волгоградского региона располагают высоким туристическим потенциалом в формате субъекта Российской Федерации, являясь визитной карточкой нашей страны. Они не только предполагают развитие экономического и туристического вектора области, но и привлекают внимание к экологической системе и состоянию природы Волгоградской области.

Научная ценность работы заключается в том, что дана оценка туристического и рекреационного потенциала территорий природных парков с их водными артериями, включающими большие, средние, малые реки; сформированы зоны для приоритетного развития всех видов туризма; акцентировано внимание на том, что существуют резервные территории, расположенные вдоль средних и малых рек, протекающих по данным паркам, не освоенные для туристической деятельности (большие реки успешно работают в этом направлении). С решением вопроса финансирования в перспективе прибрежный и водный потенциал этих типов рек должен быть направлен на удовлетворение рекреационных запросов населения нашего региона. Аналогичная ситуация наблюдается в остальных природоохранных территориях области, это Волго-Ахтубинская пойма и парки «Щербаковский», «Эльтонский», «Донской», где есть свои резервы для работы в данном направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка рекреационного потенциала природного парка «Нижнехоперский» / С. В. Семенцов, А. Д. Крючихина, Г. В. Безугомоннов, И. В. Шевчук, И. И. Соколов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 216—223.
2. Vačkář D., Harmáčková Z. V., Kaňková H., Stupková K. Human transformation of ecosystems: Comparing protected and unprotected areas with natural baselines // Ecological Indicators. 2016. Vol. 66. Pp. 321—328.
3. Возможности рекреационной деятельности на территории Волгоградской области / И. И. Соколов, Д. Р. Муслимова, А. И. Соколов, Е. И. Горюнова, Е. И. Мельникова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 264—267.
4. Данилов А. Ю. Региональные туристские ресурсы России : учеб. пособие. Ч. 1. Ярославль : ЯрГУ, 2012. 120 с.
5. Santiago López, María Fernanda López-Sandoval, Andrés Gerique, Joel Salazar. Landscape change in Southern Ecuador: An indicator-based and multi-temporal evaluation of land use and land cover in a mixed-use protected area // Ecological Indicators. 2020. Vol. 115.

© Гришин Б. М., Гурова Д. А., Кольшев Ю. Б., Шестопапов И. В., Соколов И. И., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Водные каркасы крупных, средних, малых рек — перспективный вектор развития туризма в Волгоградском регионе / Б. М. Гришин, Д. А. Гурова, Ю. Б. Кольшев, И. В. Шестопапов, И. И. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 301—310.

Об авторах:

Гришин Борис Михайлович — д-р техн. наук, проф., зав. каф. водоснабжения, водоотведения и гидротехники, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28; voda@pguas.ru

Гурова Дарья Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dasha.gurova1@yandex.ru

Колышев Юрий Богданович — проф., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; tango7912@gmail.com

Шестопалов Илья Вадимович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ilya_shestoi69@mail.ru

Соколов Иван Иванович — канд. архит., проф., доц. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sokolovii@mail.ru

**Boris M. Grishin^a, Daria A. Gurova^b, Yury B. Kolyshev^b, Ilya V. Shestopalov^b,
Ivan I. Sokolov^b**

^a *Penza State University of Architecture and Construction*

^b *Volgograd State Technical University*

WATER FRAMEWORK OF LARGE, MEDIUM, SMALL RIVERS — A PERSPECTIVE VECTOR OF TOURISM DEVELOPMENT IN THE VOLGOGRAD REGION

The water and landscape environment of the territories of the Volgograd region is analyzed as one of the varieties of further development of tourism activities in the region. The main types of tourism that underlie scientific, educational, ecological, recreational and other activities using the unique resources that various rivers of the region have are determined. A scenario of tourism activity is proposed, taking into account the water areas of large, medium, small rivers of the region.

Key words: rivers, tourism, types of tourism, natural parks.

For citation:

Grishin B. M., Gurova D. A., Kolyshev Yu. B., Shestopalov I. V., Sokolov I. I. [Water framework of large, medium, small rivers — a perspective vector of tourism development in 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. 4, pp. 301—310.

About authors:

Boris M. Grishin — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University of Architecture and Construction. 28, Germana Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; voda@pguas.ru

Daria A. Gurova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dasha.gurova1@yandex.ru

Yury B. Kolyshev — Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tango7912@gmail.com

Ilya V. Shestopalov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ilya_shestoi69@mail.ru

Ivan I. Sokolov — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sokolovii@mail.ru

УДК 314.148

Г. И. Кадышеев

ЦНИИП Минстроя РФ

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ РОССИИ В ПЕРИОД 1917 г. — 1990-х гг.

В статье отражены ключевые моменты в истории 74-летнего существования и развития первого в мире социалистического государства, повлиявшие на народонаселение и расселение современной России. За менее чем вековой период существования советской власти произошли очень болезненные, вызвавшие многие жертвы среди населения, перемены и события: Гражданская война, раскулачивание, голодомор, коллективизация и крупнейшая во всей мировой истории Великая Отечественная война. События эти привели к трем величайшим демографическим катастрофам, последствия которых сказываются в настоящее время и будут ощущаться не одно столетие. Основное внимание в статье уделено вопросам, связанным с численностью населения, реакцией населения на происходящие события, изменениями в системе расселения страны.

К л ю ч е в ы е с л о в а: народонаселение, демографические катастрофы, структура расселения.

25 октября 1917 г. Военно-революционный комитет объявил о взятии большевиками власти. Началась история государства, развивающегося на совершенно новых принципах. Уже в первые дни после 25 октября были приняты декреты, ломающие всю прежнюю структуру собственности: о национализации вкладов, о национализации банков, о национализации промышленности и др. Первые пять лет утверждения власти большевиков с намерением построить бесклассовое общество за несколько лет, перейти к коммунизму, подчинить этой идее население страны сопровождалось тяжелейшими событиями: гибелью людей в военных противостояниях, террором, голодом, болезнями, искажением морально-нравственных норм, выработанных тысячелетней историей. Это стало величайшей, страшнейшей травмой для всех жителей страны. Нарушились традиционные связи: деловые, производственные, связи человеческого общения, семейные, родственные, что привело к первой демографической катастрофе в истории Советской России.

1-й период: 1917—1923 гг. Военный коммунизм, красный террор, Гражданская война, голодомор 1921—1922 гг. Первая демографическая катастрофа

Первые шаги новой власти вызвали всеобщее активное возмущение, в ответ на которое «7 (20) декабря 1917 г. была учреждена Всероссийская чрезвычайная комиссия (ВЧК) по борьбе с контрреволюцией, спекуляцией и саботажем» [1].

Учредительное собрание, созванное для решения вопроса о власти 6 января 1918 г., было разогнано. 31 января 1918 г. было принято решение об увеличении тюремных мест, и, «чтобы обезопасить Советскую Республику от классовых врагов путем их изоляции в концентрационных лагерях», «в ночь на 17 июля 1918 г. Николай II и его семья были расстреляны в Екатеринбурге. В Алапаевске были убиты другие члены императорской семьи» [1]. Эти убийства знаменовали начало красного террора.

«Аграрная и, особенно, продовольственная политика большевиков создала условия для разжигания в деревне гражданской войны» [2]. В деревню для изъятия хлеба, кроме продовольственных отрядов, была направлена и Красная Армия. «В мае 1918 г. против крестьян было направлено 75 тыс. солдат» [1].

12 мая 1919 г. Совнарком издал декрет об организации концентрационных лагерей. Труд заключенных должен был содержать их самих, охрану и давать доход. В конце 1920 г. в России было организовано 84 концентрационных лагеря на 50 000 заключенных. К октябрю 1923 г. число лагерей выросло до 315, а число заключенных — до 70 тыс. человек. Но выступления против власти не прекращались.

Произвол продотрядов послужил поводом для крупнейшего Тамбовского восстания в конце 1920 г. В его ходе была создана Объединенная партизанская армия — от 25 до 50 тыс. крестьян. Против восставших применялась не только артиллерия, но и отравляющие газы. «Главные силы восставших были побеждены в августе 1921 г. В концентрационные лагеря были брошены десятки тысяч человек» [1]. Крестьянские восстания были последней попыткой сопротивления большевистской власти. В 1921 г. не осталось ни одной губернии, не охваченной крестьянской партизанской войной.

«27 февраля 1919 г. началось крупнейшее Кронштадтское восстание. <...> Это было... восстание против коммунистов — антиоктябрь. Для подавления восстания была создана специальная 7-я армия в 45 тыс. штыков» [1].

Жестокое подавление восстаний 1920—1922 гг., которые были подняты крестьянами и рабочими, с полной ясностью показало цели нового режима и нежелание рабочих и крестьян подчиняться новой власти, которой требовалось установить свои порядки.

«Всего в Красном терроре погибло 482 500 чел., из них: в Крыму — 50 000...70 000 чел.; участников Тамбовского восстания — 70 000...90 000 чел.; подавление Западно-Сибирского восстания — 75 000 чел.; истребление уральских казаков — 130 000 человек. <...> Одним из средств массового усмирения народа большевики использовали голод. Сознательно и спланировано был организован голодомор 1921—1922 годов. В деревнях насильственно изымалась у крестьян в качестве продовольственного налога почти все продовольствие» [1].

К концу 1921 г. число голодающих достигло 15...22 млн чел. От голода погибло, по некоторым оценкам, 5...8 млн чел.

К 1921 г. страна была полностью разорена. Смерть превысила рождаемость в три-четыре раза. За первые четыре месяца 1920 г. число смертей на тысячу жителей составляло 90 чел.

В 1922 г. из страны были высланы 200 выдающихся представителей науки, культуры, искусства. В 1922—1923 гг. были предприняты и другие жесткие шаги, изменившие всю духовную атмосферу в стране [2]. «Два-три миллиона человек были вынуждены эмигрировать из страны...» [3].

22 февраля 1922 г. вышел декрет ВЦИК о насильственном изъятии церковных ценностей, якобы в помощь голодающим. Ленин 19 марта 1922 г. писал: «Именно теперь и только теперь, когда в голодных местах люди едят людей... мы можем и должны провести изъятие церковных ценностей с самой бешеной и беспощадной энергией... <...> Чем большее число представителей

реакционной буржуазии и реакционного духовенства нам удастся по этому поводу расстрелять, тем лучше... <...> В результате карательных действий ГПУ НКВД в 1922—1923 гг. было убито 2690 священников, 4 тысячи монахов и монахинь, закрыто 637 монастырей» [1].

Продолжавшаяся до 1923 г. Гражданская война закончилась поражением Белой армии. Белая армия была добровольческой. Красная Армия создавалась по призыву, устанавливалась строгая дисциплина, существовали заградительные отряды и другие средства принуждения к выполнению приказов. У красных было численное превосходство. «В 1919 г. у белых и всех их армий было 250...300 тыс. человек. Красная Армия жесткими мерами мобилизации была доведена до 1,5 млн человек...» [1].

Вызванное переворотом 25 октября массовое сопротивление устанавливаемым новым правилам жизни и хозяйствования привело к катастрофическим потерям. Лига Наций по советским данным определила «дефицит населения» России 1914—1922 гг. «из-за войны и революции» в 26 млн чел. Последствия октября 1917 г. можно выделить, вычитая из 26 млн чел. «дефицита населения» 10 млн неродившихся, 2,3 млн погибших в Первой мировой войне, 1,2 млн белых эмигрантов и 0,5 млн погибших и эмигрировавших в связи с восстанием в Средней Азии. Получится 12 млн погибших в 1918—1922 гг.

Эта цифра состоит из следующих показателей, тыс. чел. [2]:

- умерших от голода — 5200;
- жертвы эпидемий тифа, холеры и т. д. — 3920;
- боевые потери Красной Армии — 260;
- боевые потери Белой армии — 170;
- красный и белый террор — 2310;

Итого: 11 860.

Общее разорение всей жизни страны, гибель мужчин и женщин, утрата собственного дома привели к множеству детей, лишившихся и дома, и родителей, — беспризорников. Их численность, по данным, приведенным Русской православной церковью, достигала 7 млн чел.

Определить действительные потери страны в этот период очень сложно. Так, в издании «История России с древнейших времен до наших дней» под редакцией члена-корреспондента РАН А. Н. Сахарова говорится, что «потери населения в Гражданской войне составляли от 4 до 10 млн человек, число мужчин уменьшилось на треть, более 4 млн человек стали инвалидами, около 2 млн человек вынуждены были эмигрировать из страны. <...> Каков мог быть естественный, но не состоявшийся прирост населения, сказать невозможно. Но он мог быть и по 1 млн человек в год, как в конце XIX века» [2].

Независимо от политических и других событий, необходимо рассмотреть процессы, связанные непосредственно с поведением людей в вопросах регулирования рождаемости. «Накануне революции 1917 года уровень рождаемости в России был еще значительно выше, чем в развитых европейских странах. <...> Исторические события, происходившие в России в первые десятилетия XX века (Первая мировая война, революция 1917 года и последовавшая за ней Гражданская война) нарушили плавное течение, ускорив уже начавшееся снижение рождаемости. <...> Весьма существенным было падение

рождаемости в период 1915—1920 годов. Однако это снижение было не столько следствием нарушения в репродуктивном поведении населения, сколько реакцией на временные нарушения обычных условий жизни... К середине 20-х годов (уже при НЭПе) рождаемость вернулась к довоенному уровню...» [2].

Таковы итоги первых пяти лет развития государства, созданного большевиками с целью построить принципиально новое бесклассовое общество, с равенством всех людей без сословий, без личной собственности. Итоги говорят о том, что насильственное внедрение новых форм хозяйственной жизни, новых экономических принципов, не учитывающих исторический опыт, стремления людей, их мораль и нравственные устои и традиции, не могло не кончиться неслыханными жертвами среди населения.

2-й период: 1923—1941 гг. НЭП, раскулачивание, индустриализация, коллективизация. Голодомор 1932—1933 гг. Вторая демографическая катастрофа, сокращение населения села и рост городов

«К концу 1922 года большевики добились одной из своих главных целей — они подавили и изгнали из России организованную либерально-демократическую контрреволюцию. <...> „На экономическом фронте, — признавался Ленин, — с попыткой перехода к коммунизму, мы к весне 1921 года потерпели поражение более серьезное, чем какое бы то ни было поражение, нанесенное нам Колчаком, Деникиным или Пилсудским“» [4].

В этот период было предложено в целях успокоения народа изменить (на время) экономическую политику и восстановить нормальную рыночную экономику. Эта политика получила название НЭП — новая экономическая политика. «Ленин подчеркивал, что „без поддержки со стороны крестьянства, составляющую огромное большинство населения, нельзя успешно управлять такой страной, как Россия“» [2] (это признавал еще Император Николай II).

В период НЭПа «...за шесть лет крестьяне поправили свои дела... <...> Производство в целом, оправившись от обвала времен военного коммунизма, подошло к уровню 1913 года...» [4].

Большое внимание власть обращает на воспитание молодежи. В мае 1922 г. создается организация пионеров, был создан Всесоюзный ленинский коммунистический союз молодежи — комсомол. <...> История России и история русской культуры переписываются... <...> Большевики пытались изменить представление о семье и морали. Выработывались новые нормы, отличающиеся от традиционных, свойственных крестьянской и вообще русской семье» [1].

«Это, и в том числе марксистские взгляды на брак, как на буржуазный пережиток, на появившиеся в официальных документах новые взгляды на женщину, как на „всемирное достояние“». «Вот цитата из произведения основателей марксизма: „Уничтожение семьи... буржуазное разглагольствование о семье, о воспитании, о некоторых отношениях между родителями и детьми внушают отвращение... Общность жен... буржуазный брак является в действительности общностью жен. Коммунисты хотят ввести вместо лицемерно-прикрытой общности жен официальную „открытую“» («Манифест коммунистической партии») [5].

Для миллионов русских людей вставал вопрос, как существовать в новых условиях.

В 1924 г. ОГПУ репрессировало по политическим мотивам 12 425 чел., в 1926 г. — 17 804, в 1927 г. — 26 036, в 1929 г. — 33 757 г. Всего с 1921 по 1929 г. в СССР за контрреволюционные преступления было осуждено около 600 тыс. чел. [1].

Под предлогом того, что НЭП сдерживает ускоренную индустриализацию страны, для чего нужны средства и люди, Сталин провозгласил: «Мы имеем возможность повести решительное наступление на кулачество... заменить его производством колхозами и совхозами» [4]. «Хлеб давал валюту, поэтому от хлебозаготовок зависели сроки и темпы превращения Советской России из аграрной в индустриальную страну» [2].

Началась коллективизация. Для решения этой задачи «...была применена система репрессивных мер, предусматривающая лишение свободы... с конфискацией имущества. Только в Среднем Поволжье под суд было отдано 17 тыс. крепких хозяйств» [2]. Это вызвало протесты. «В 1929 году было до 1300 кулацких мятежей. <...> Налицо был глубокий социально-экономический кризис, перерастающий в политический» [2].

«Высокий темп коллективизации поддерживался массовыми репрессиями, вплоть до военной силы. В деревню для организации колхозов направлялись городские жители (партийно-хозяйственный актив, комсомольцы, студенты), плохо знакомые с деревенской жизнью» [2]. Они получили название «двадцатипятидесятники», они же возглавляли колхозы.

«Попытки осуществить массовое обобществление скота привели к массовому забою скота... <...> Животноводству был нанесен удар, от которого оно за последующие годы так и не оправилось. Кто из крестьян мог, бежал в города. На селе уже в 1931 году поднимается новая волна восстаний. По данным ОГПУ, за январь — апрель 1930 года в стране состоялось 6117 крестьянских выступлений, в которых участвовало около 1,8 млн человек. За 1930 год было зафиксировано 7382 выступления в связи с коллективизацией, 1487 — в связи с закрытием церквей» [6].

С конца 1929 г. до середины 1930 г. было раскулачено свыше 320 тыс. семей. К лету 1931 г. свыше 265 тыс. семей выселено в северные районы СССР, из которых 10 % направлялись в трудовые лагеря ОГПУ. К началу 1932 г. у крестьян уже не было хлеба, и начался голод [1]. «1932—1933 годы — голод, вызванный изъятием хлеба у колхозников (в зоне голода оказалось до 30 млн человек, из них умерло до 5 млн человек» [7]. Голод 1932—1933 гг. охватил не только Украину, но и Поволжье, Северный Кавказ, Южный Урал, Среднюю Россию, Казахстан. Здесь ели лебеду, кору и корни, и здесь было людоедство [7].

К 1937 г. более 90 % крестьянских дворов вошли в колхозы. Вот «...сведения о выселенном кулачестве на 1 апреля 1940 г.: наибольшее число выселенных из Украины — 63 720 человек, из Северо-Кавказского края — 38 404 человек, Средне-Волжского края — 23 006 человек, Центрально-Черноземного округа — 26 006 человек, Белоруссии — 15 721 человек, Башкирии — 12 820 человек, Урала — 28 394 человека, Западно-Сибирского округа — 52 091 человек. Выселялись в Северный край, Урал, Западную Сибирь, Восточную Сибирь, Якутию, Башкирию, Казахстан. Всего выселено — 1 803 392 человека» [8].

«В результате коллективизации не только „кулачество“ было „ликвидировано как класс“, но и все крестьянство было ликвидировано как сословие самостоятельных производителей и превращено в подневольных батраков на государственной земле... <...> В 1932 г. были введены паспорта, но крестьяне их не получили. Они были прикреплены к земле, как в XVII веке» [4]. Коллективизация разрушила крестьянское хозяйство, лишила его земельного участка и личной инициативы.

«С 1929 г. по 1939 г. число заключенных в тюрьмах и лагерях СССР увеличилось в 12 раз, достигнув 2 млн... кроме того, было еще 990,5 тысяч спецпереселенцев, так что общее число лишенных свободы достигло 3 млн человек. <...> За неполных два года, 1937 и 1938 гг., было арестовано 1 575 259 человек и расстреляно 681 692 человека. Основную тяжесть репрессий несли простые рабочие, крестьяне и служащие» [4].

«В эти же годы было арестовано и выбыло из армии 35 тыс. чел., в том числе 5 тыс. политработников. Из 733 человек высшего командного состава Вооруженных сил погибло 579 человек... Репрессии... должны были обеспечить успешную индустриализацию... И это удалось сделать. <...> Страна вышла на второе место в мире по производству промышленной продукции... укрепила обороноспособность... осуществила строительство каналов Москва — Волга и Беломорского канала, и строительство гидроэлектростанций, Днепростанции. Были изменения и улучшения в социальной сфере» [2].

«Между 1928 и 1940 годом городское население удвоилось — округленно — с 30 млн до 60 млн человек, а строительство жилья не поспевало» [4]. Но тогда же началась реконструкция городов, которая должна была отвечать идеям и устремлениям к будущей светлой и прекрасной жизни.

«Перепись января 1937 года показала численность населения страны 162 млн человек, тогда как по прогнозам ожидалось 180 млн человек. Причина — недостаток рождений — следствие коллективизации, голодомора и репрессий» [4].

«Коллективизация, ухудшив условия жизни на селе, ускорила отток населения в города. В 1929 году в городах жило 18% населения СССР, а затем резко пошло вверх: в 1934 году уже 24% населения стало городским. С конца 20-х годов тенденция снижения рождаемости в России возобновилась» [9] (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент суммарной рождаемости России: конец 1920-х — 1930-е гг. [9]

Годы	Число рождений на одну женщину	Годы	Число рождений на одну женщину
1927	6,653	1934	3,586
1928	6,534	1935	4,259
1929	6,201	1936	4,554
1930	5,785	1937	5,047
1931	5,611	1938	4,987
1932	5,042	1939	4,881
1933	4,069	1940	4,252

«Мощным ускорителем снижения рождаемости стали развернувшиеся в стране в конце 1920-х — начале 1930-х гг. процессы индустриализации, коллективизации крестьянства, а также голод 1933 г. Всего за несколько лет коэффициент суммарной рождаемости снизился почти на три пункта, составив в 1934 г. 3,6 на одну женщину. Распространение городского образа жизни в результате ускоренной урбанизации, изменение положения женщины в семье и обществе, широкое вовлечение ее в общественное производство вне дома, повышение культурного уровня населения, привнесшие новые черты в семейный быт и вообще изменившие весь образ жизни российского населения, были основными факторами трансформации в эти годы репродуктивного поведения российских семей, все чаще и шире прибегавших к намеренному ограничению числа детей» [10]. После падения рождаемости в 1934 г. можно было наблюдать некоторое повышение показателей рождаемости к 1937 г. и снова снижение после начала репрессий 1937—1938 гг.

Люди очень явно реагировали на происходящие политические события.

«По переписи 1937 года население между 1926 и 1937 годами сократилось на 5...18 % в областях Калининской, Западной, Мордовской, Курской, Кавказской, Немцев Поволжья, Саратовской, Винницкой, Киевской, Черниговской, Одесской и в Казахстане. По СССР в целом возросло на 10 %. <...>

Всего за четыре года (1930—1933) произошла убыль населения в стране на 9,3 млн человек. Из них 200 тыс. скотоводов-кочевников ушло в Китай. Так что число — убыли населения — избыточных смертей можно принять за 9,1 млн человек. Из них голодомор унес 6,5 млн человек, остальные — это смертность спецпереселенцев, смертников в концлагерях, общее ухудшение условий жизни.

Если через ОГПУ в 1929 г. прошли 5885 человек, то за 1930 г. — уже 179 620 человек, из которых 18 966 приговорили к расстрелу. За 1930 г. чекисты зафиксировали в СССР 13 754 массовых выступлений, в том числе 7383 — в связи с коллективизацией, 1487 — в связи с закрытием церквей, 2339 — в связи с „действием антисоветских элементов“, 1220 — в связи с нехваткой продовольствия, 1326 — по другим причинам. 176 из этих выступлений характеризовались „как ярко выраженные повстанческие“... Против повстанцев применялась артиллерия, танки и авиация.

Гибель 9 млн населения — в их числе самых трудолюбивых и успешных крестьян — была не только нравственно, но и экономически колоссальной утратой. ...Коллективизация ослабила страну и политически. В 1930—1940 гг. в ГУЛАГе погибли не менее 500 тыс. заключенных» [4].

Страна пережила вторую демографическую катастрофу.

Урон, нанесенный правительством народу своей страны, не имеет примеров в предшествующих тысячелетиях развития человеческой цивилизации. Ничего подобного в истории человечества никогда не происходило. Все это не могло не оставить в памяти народа, выжившего в этих невзгодах, глубокого следа, незаживающей раны, тяжелой травмы, последствия этого не могут не сказаться в будущих десятилетиях, а может быть и столетиях. Но тогда же становятся заметными некоторые изменения в отношении к внутренней политике государства по отношению к науке, образованию, культуре, к истории страны, к созданию приемлемой среды жизни людей в городах. В это же время ведется строительство домов культуры, спортивных сооружений.

Но 22 июня 1941 г. Германия вступила в войну с СССР. И страна, а лучше сказать люди, в большинстве бывшие крестьяне, ставшие солдатами Красной Армии, с далеко еще не устоявшимся пониманием всего того, что с ними произошло в течение немногим более 20 лет со дня 25 октября 1917 г., вступили в войну. Это был великий исторический экзамен для всего русского народа и власти. Это была Великая Отечественная война. Эта война вновь показала величие русского и других народов страны, история которых началась не с 1917 г.

3-й период: 1941—1991 гг. Великая Отечественная война. Третья демографическая катастрофа. Экономический и социальный кризис. Крах Советского государства в 1991 г.

Советское правительство готовилось к войне. 5 мая 1941 г. Сталин заявил: «Война с Гитлером неизбежна». И война началась. 22 июня 1941 г., без объявления войны, войска фашистской Германии вторглись на советскую территорию.

Главный факт начала войны — это катастрофическое поражение Красной Армии уже в первые дни и недели войны, хотя Красная Армия имела достаточно вооружений, вполне сопоставимых с вооружением немецкой армии.

«Отступление продолжалось, его не удавалось остановить. Красная Армия отступала. При рассмотрении данных, связанных с этими потерями... выясняется, что число пленных и пропавших без вести в 7...10 раз превосходит число убитых» [11].

Подобного массового бегства с поля боя, сдачи в плен, дезертирства не было за всю предыдущую историю войн. О том, что происходило в армии, говорят официальные государственные документы. «Красная Армия уступала противнику не в числе пушек, танков и пулеметов, а в готовности, умении и желании солдат исполнить свой долг. В Красной Армии было много танков, но мало мотивации для вооруженной борьбы» [12]. «Причины того трагического явления необходимо искать в социально-политических и морально-нравственных последствиях большевистского эксперимента и не прекращавшейся с октября 1917 г. войне большевиков против народа России» [4].

С целью остановить отступление и создать условия, способные переломить ход событий, правительство применило суровые репрессивные меры. «Приказ № 227 (август 1942 г.), вызванный критическим состоянием на фронтах... был как всегда лаконичен и сух, точен и бил в самую точку. Смысл его сводился, примерно, к следующему: „Ни шагу назад! Дальше отступать некуда! Будем учиться у врага и создадим заградительные отряды, которые обязаны расстреливать отступающих; командиры и комиссары получают право убивать трусов и паникеров без суда“» [13].

«За четыре года войны, Великой Отечественной, военными трибуналами было осуждено 2 530 683 человека. Два с половиной миллиона. Из них — 994 тыс. были военными, а остальные гражданскими лицами... К высшей мере наказания осуждено 217 080 человек, из них 135 тыс. человек (то есть 10 дивизий) были военнослужащими» [14].

Эти жестокие меры, а также происходящие в процессе сражений, боев и отступлений изменения в сознании большинства участников войны — все тех же солдат, бывших крестьян, когда вновь проявилась историческая память

этих людей, предки которых многие столетия отстаивали свою страну от врагов. «Война стала войной за защиту отечества... Для миллионов людей война стала войной за Родину, за Россию, за свои „три березы“, за „дедовы погосты“. <...> Сражавшиеся за Россию в этой страшной войне действительно стали героями Великой Отечественной войны» [4].

Война закончилась Великой Победой. Но Великая Отечественная война «...обернулась для России третьей демографической катастрофой после военного коммунизма и коллективизации, причем самой страшной. Вызванные ею потери составили округленно 27 млн человек, из них 17 млн мужчин призывного возраста и 10 млн мирного населения» [4].

Германия потеряла на Восточном фронте 7 млн человек [4].

Здесь можно отметить, что потери союзников в этой войне составили: английских военнослужащих — 303 тыс. чел., а американских — 291 тыс. чел.

17...18 млн погибли во время войны... Сколь огромна была потеря, явствует из того, что в 1959 г. на каждых трех женщин возраста от 30 до 74 лет осталось двое мужчин. Но нехватка мужчин призывного возраста была и в 1941 г. — на 4,3 млн чел. меньше, чем женщин, — из-за предыдущих катастроф.

Уровень рождаемости после войны резко упал: в 1946 г. он составил 2,8 рождений в течение жизни одной женщины — в полтора раза меньше, чем в 1940 г. За небольшим ростом в 1949 г. рождаемость вновь понизилась и по РСФСР упала до уровня 2,0, не обеспечивающего замещения поколений.

Спад числа рождений в годы войны, а следовательно, и готового к воспроизводству населения имел свое «эхо» 25 и 50 лет спустя — в спадах числа рождений около 1970 и 1995 гг. Война надолго оставила свой отпечаток на составе населения по полу, возрасту и численности.

Но последствия войны не только в огромных потерях людей. На войне проявлялось постоянно далеко не самое гуманное поведение людей, жестокость, которую нельзя оправдать. Это также знакомство российских солдат с условиями и качеством жизни в Германии, Чехословакии и других занятых нашими войсками странах. Все это оказало новое и далеко не самое лучшее влияние на традиционные представления русских людей о нравственности, о семейных отношениях, о допустимости и приемлемости новых, других, не свойственных ранее русским людям, взаимоотношений между людьми.

Определенные искажения, нарушения морально-нравственных устоев русских и вообще российских людей и, конечно, человеческие утраты — все это имеет прямое отношение к демографии. Разорение традиционного крестьянского хозяйства в период коллективизации и гибель множества мужчин в войне сыграли немалую роль и в расселении — в опустошении деревень, в бегстве людей в города, утрате многих сел и деревень.

«Согласно сводным оценкам людских потерь, в этой войне на долю СССР пришлось от трети до половины всех мировых потерь. <...> В деревне даже после возвращения демобилизованных численность трудоспособного населения была на треть меньше, чем до войны. Во многих украинских и белорусских деревнях вообще не осталось взрослых мужчин. По переписи 1959 г. на одну тысячу женщин в возрасте от 35 до 44 лет приходилось только 633 мужчины» [3].

За годы войны враг разрушил 1710 городов и рабочих поселков, свыше 70 тыс. сел и деревень.

По выпуску металла и руды война отбросила страну на 10—12 лет назад. Были уничтожены многие исторические памятники, больницы, поликлиники, школы. «Восстановление народного хозяйства проходило крайне напряженно. Не хватало рабочих рук. В 1946 г. разразилась жестокая засуха. Начался голод... В результате голода и болезней... в стране погибло около 1 млн человек» [2].

История развития Советского государства не закончилась победой над Германией. Советский Союз с 1945 по 1991 г. продолжал жить. Произошли многие события в развитии нации и достижениях в освоении космоса, полет первого космонавта Юрия Гагарина. Страна восстановила разрушенное хозяйство и продолжала строительство, осваивала новые месторождения, развивала транспортную инфраструктуру, но «...кризисные явления в экономике подрывали основы внутренней стабильности Советского государства. К концу 1980-х годов прекращается рост жизненного уровня. Одновременно слабеет дисциплина. <...> Страну поразили масштабный экономический кризис» [2]. В государственном масштабе в границах РСФСР продолжалось постоянное обезлюдение сел и деревень, разрушение ранее трудами многих поколений созданной системы расселения. «Так, в границах, соответствующих нынешним границам Российской Федерации, численность сельского населения в 1979 г. составляла 31 млн чел., в 1989 г. — 27 млн чел., в 1991 г. — 26 млн чел.»*. «Ежегодно с лица земли исчезали 2...3 тыс. российских деревень» [2].

«Резкое снижение рождаемости в России — в бывшем СССР — достигло в 60—70-х гг. Наиболее низкий уровень рождаемости, как правило, наблюдается у городских жителей крупных городов в сравнении с жителями малых и средних городов, имеющих более высокий уровень образования в сравнении с менее образованными. <...> При этом хорошо видна разница в рождаемости у некоторых национальностей» [10].

Наибольшее снижение показателя рождаемости при сравнении данных 1975—1979 и 1900—1993 гг. видно у русских, которые к этому сроку снизились с 1,99 (на одну женщину) до 1,47 (73,9 %). У белорусов схожая картина: 1,99 — 1,48 (74,4 %). А у некоторых национальных групп показатели хотя и снижались, но все-таки были выше: Осетия — 2,83 — 2,20 (77,7 %); Армения — 2,42 — 1,85 (76,4 %).

«С конца 80-х годов и, особенно, в 90-е годы начала после периода относительной стабильности на уровне 10...12 % растет доля внебрачных рождений, хотя в сравнении с некоторыми странами Европы она пока остается невысокой. Особенно заметный ее рост происходил за последние 8 лет. Доля внебрачных рождений выросла с 14,6 % в 1990 г. до 25,3 % в 1997 г. (25 % в городском населении, 26,1 % — в сельском), то есть превысила уровень послевоенного 1945 г. (24,4 %)» [10].

Увеличение процента внебрачных рождений у сельского населения к 1997 г. объясняется последовательным разрушением структуры сельского расселения, уходом, прежде всего мужчин, в города, что вынуждает

* Российский статистический ежегодник : стат. сб. за 2012 г. М. : Росстат, 2012. 786 с.

оставшихся в сельской местности молодых женщин жить без семьи, без мужа, а детей — без отцов.

Заключение

Данные по убыли населения с учетом демографических катастроф вышеперечисленных периодов развития Советского государства показывают общую сумму в 52 млн чел. Общая картина утраты населения за 1918—1956 гг. представлена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Потери населения за 1918—1956 гг.

1918—1922	Военный коммунизм, голод, Гражданская война	12 млн чел.
1930—1933	Коллективизация, раскулачивание, голодомор	9 млн чел.
1934—1940	Террор, лагеря, Финская война	2,7 млн чел.
1941—1945	Великая Отечественная война	27 млн чел.
1946—1956	Голод 1947 г., подавление повстанцев, лагеря	1,3 млн чел.
<i>Итого</i>		52 млн чел.

«Эти цифры — достоверный минимум, но никто не считал потери, связанные с тяжелыми бытовыми условиями... это и дети, которые не родились в этот период, так как разлучались родители. Эти величины довольно условные. Они оцениваются примерно в 40 млн человек, создавая дефицит около 90 млн человек. <...>

Если на территории СССР в 1990 г. жило 290 млн человек, то без этих потерь население страны было бы порядка 380 млн человек» [4].

Для простоты понимания возможной численности населения СССР к 1990 г. принимаются данные:

- 290 млн чел. — к этому времени по переписи;
- 52 млн чел. — утрата с 1918 по 1956 г.;
- около 40 млн чел. — неучтенные данные возможной убыли населения из-за детей, не родившихся в тот же период по разным причинам, указанным выше.

Итак, 290 млн чел., 52 млн чел. и 40 млн чел. В сумме составляют около 380 млн чел.

С началом перестройки в национальном самосознании народов СССР происходят серьезные изменения, которые при неумении власти предложить обоснованные эффективные шаги по преодолению кризисных явлений привели в 1991 г. к развалу страны.

Закончился период существования государства, созданного на основе учения К. Маркса и Ф. Энгельса, обосновавших своими трудами необходимость революционным путем создать государство нового типа как общества бесклассового, без частной собственности, с равенством в правах и возможностях проявления своих способностей всех граждан данного человеческого сообщества.

Созданное В. И. Лениным и его сподвижниками государство после вооруженного переворота 25 октября 1917 г. просуществовало 74 года.

За менее чем вековой период существования советской власти произошли очень болезненные, вызвавшие многие жертвы среди населения, перемены и события: Гражданская война, раскулачивание, голодомор, коллективизация и крупнейшая во всей мировой истории Великая Отечественная война. События эти привели к трем величайшим демографическим катастрофам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. История России. XX век / К. М. Александров, Н. В. Артемов, С. С. Балмасов и др. ; под ред. А. Б. Зубова. М. : Э, 2016. 974 с. Т. 1. Как Россия шла к XX веку: от начала царствования Николая II до конца Гражданской войны (1894—1922).
2. Сахаров А. И., Боханов А. Н., Шестаков В. А. История России с древнейших времен до наших дней : учеб. : в 2 т. / Под ред. А. Н. Сахарова. М. : Проспект, 2013.
3. Касьянов В. В., Шаповалов С. Н., Шаповалова Я. А., Манучарян А. К. История России в схемах, таблицах, картах и заданиях : учеб. пособие для студентов образоват. учреждений высш. образования, обучающихся по неисторическим направлениям подготовки бакалавриата / Под ред. В. В. Касьянова. Ростов н/Д. : Феникс, 2016. 376 с.
4. История России. XX век / К. М. Александров, Н. В. Артемов, С. С. Балмасов и др. ; под ред. А. Б. Зубова. М. : Эксмо, 2021. 750 с. Т. 2. Эпоха сталинизма (1923—1953).
5. Маркс К., Энгельс Ф. Принципы коммунизма. Манифест коммунистической партии / Пер. с нем. М. : АСТ, 2020. 157 с.
6. История России. XX век. 1894—1939 / К. М. Александров, Н. В. Артемов, С. С. Балмасов и др. ; под ред. А. Б. Зубова. М. : Артель : АСТ, 2011. 1024 с.
7. Плавинский Н. А. История. М. : Эксмо, 2015. 254 с.
8. Пыхалов И. В. За что сажали при Сталине. Как врут о «сталинских репрессиях». М. : Яуза, 2015. 252 с.
9. Андреев Е. М., Дарский Л. Е., Харьковская Т. Л. Демографическая история России. 1927—1959. М. : Информатика, 1998. С. 166.
10. Бондарская Г. А. Изменение демографического поведения российских семей за 100 лет // Мир России. 1999. № 4. С. 58—70.
11. Солонин М. С. 23 июня — «день М». М. : Яуза, 2019. 508 с.
12. Солонин М. С. 22 июня. Окончательный диагноз. М. : Яуза, 2019. 572 с.
13. Никулин Н. Н. Воспоминания о войне. М. : АСТ, 2020. 349 с.
14. Солонин М. С. Как Советский Союз победил в войне. М. : Яуза, 2019. 252 с.

© Кадышев Г. И., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Кадышев Г. И. Демографические катастрофы России в период 1917 г. — 1990-х гг. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 311—323.

Об авторе:

Кадышев Георгий Иванович — чл.-кор. РААСН, ЦНИИП Минстроя РФ. Российская Федерация, 119331, г. Москва, пр-т Вернадского, 29

Georgiy I. Kadyshev

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

**DEMOGRAPHIC CATASTROPHES OF RUSSIA
IN THE PERIOD FROM 1917 TO THE 1990s**

The article reflects the key moments in the history of the 74-year existence and development of the world's first socialist state, which influenced the population and settlement of modern Russia. For less than a century of the existence of Soviet power, very painful changes and events took place, causing many victims among the population: Civil war, dispossession, Holodomor, collectivization, and the largest in the entire world history of the Great Patriotic War. These events have led to three of the greatest demographic catastrophes, the consequences of which are being felt at the present time and will be felt for centuries. The main attention in the article is paid to issues related to the population size, the reaction of the population to the events taking place, changes in the country's settlement system.

K e y w o r d s: population, demographic catastrophes, settlement structure.

For citation:

Kadyshev G. I. [Demographic catastrophes of Russia in the period from 1917 to the 1990s]. *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. 4, pp. 311—323.

About author:

Georgiy I. Kadyshev — Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. 29, Vernadskogo Ave., Moscow, 119331, Russian Federation

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» *включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-otformleniyu/>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-otformleniyu/>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале, а рецензия, кроме того, в отсканированном виде.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: ORCID, ScopusID (при наличии); *индекс УДК*; на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи завершается личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — 8—12 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip, WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится *только* цитируемая в статье литература. Редколлегией приветствуется цитирование журнала. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке

упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи направляются редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и публикуются только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору по требованию.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. 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-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ <http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна) vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Е.В. Карчагину по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис»,
подписной индекс **E 29507**.
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-
дия. ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолгГТУ по адресу:
<https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/seriya-stroitelstvo-i-arkhitektura/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2022. Выпуск 4(89)**

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 25.01.2023. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 15,0. Усл. печ. л. 28,5. Тираж 500 экз. Заказ № 172

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