

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Вып. 2(91) **Серия: Строительство и архитектура** **2023**
Научно-теоретический и производственно-практический журнал

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

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолГГТУ

С о д е р ж а н и е

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

- Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В.** Назначение размеров расчетных схем при компьютерном моделировании напряженного состояния основания плитного фундамента на основе метода конечных элементов 5
- Бондарев Б. А., Акчурин Т. К., Душко О. В., Стурова В. А., Жидков В. К.** Оценка износа элементов перильных ограждений и пути повышения их долговечности 18
- Иваненко Т. А., Ветрова Н. М., Гайсарова А. А.** О целесообразности разработки эколого-инженерных решений противооползневой защиты прибрежных зон Крыма 28
- Корниенко С. В., Брехов Е. М.** Теплотехнические особенности пола по грунту в зеленых зданиях 38

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

- Артемова С. Г., Барлит О. Б., Нурахунов Н. М.** Совершенствование системы методов подбора материалов для дорожной разметки 48
- Бондарев Б. А., Акчурин Т. К., Душко О. В., Бондарев А. Б., Ткачева И. А., Жидков В. К.** Анализ дефектов и повреждений конструкций дорожных одежд на автомобильных дорогах промышленных предприятий и пути их устранения 58
- Боровков Д. П., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Логачева Е. Н., Шевцов Е. И.** Экспериментальные исследования влияния автомобильных дорог на характеристики запыленности атмосферного воздуха городов региона Кавказских Минеральных Вод 67
- Шишкин Е. А.** Выбор режимов работы уплотнителей асфальтобетонных смесей 78

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Тараканов О. В., Акчури Т. К., Белякова Е. А., Душко О. В.** Перспективы применения комплексных органоминеральных добавок в бетонах нового поколения 88

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Бурлаченко О. В., Рисунов А. Р., Соболева Е. Д., Воробьева А. Д.** Технологические решения модернизации оборудования, повышающие эксплуатационные показатели строительных машин, на примере экскаватора 99

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Ахмедова О. О., Сошинов А. Г., Вирт А. Э., Вдовиченко В. В.** Анализ рынка водоочистных сооружений 107

- Бутко Д. А., Фесенко Л. Н., Шишова О. П.** Реагентное осветление промывных вод фильтров станций водоподготовки в нижнем течении Дона 118

- Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю., Брошко О. С., Тимофеев А. Г., Изотов В. В., Москвичева Е. В., Ляшенко И. С.** Освоение наилучших доступных технологий водоочистки для промышленных предприятий 130

- Вурдова Н. Г., Брошко О. С., Юрьев Ю. Ю., Изотов В. В., Тимофеев А. Г., Москвичева Е. В., Бастрыкин Е. А.** Технологический подход к организации малосточных систем на нефтеперерабатывающих предприятиях 140

- Дягелев М. Ю.** Опыт выявления поллютанта в модельном растворе спектрофотометрическим методом 149

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Матвиенко О. В., Фирсанова Н. С.** Исследование установившегося течения сгущающейся жидкости в цилиндрической трубе 157

- Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Лебедев В. Н., Тезиков Д. А., Грошев В. В., Ускова Д. А.** Энерго- и ресурсосберегающие насадочные контактные устройства для аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды 168

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Иванова Н. В., Ганжа О. А.** Архитектурно-ландшафтная организация объектов рекреационной деятельности на территории острова Голодный Волгограда 180

- Коростелева Н. В., Камнев А. В., Акимова К. В.** Перспективы градостроительного освоения овражно-балочных систем города Волгограда 192

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- Блажнов А. А.** Точечная жилая застройка: возможность рационального формирования придомовой территории на сложном рельефе 202

- Вальковская М. Д., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В.** Использование современных подходов в дизайне жилых интерьеров 209

- Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Кокина А. Д.** Благоустройство городских набережных как важный аспект создания комфортной городской среды 222

- Русанов В. А., Казанова Е. В., Казанова Н. В., Чиликин Д. В.** Сохранение идентичности городов юга России посредством расширения типологического ряда многоквартирных жилых зданий 234

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

- Беляева Е. Л.** Вопросы методики проектирования благоустройства исторических и природных территорий в контексте цифровизации 243

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

- Игнатъев А. В., Игнатъев В. А., Галишников И. А.** Проблема содержания терминов, используемых при информационном моделировании объектов строительства 256

- Красильников В. П., Андрианов А. В., Красильников П. А.** Об актуальности применения BIM-технологии в инженерно-геологических изысканиях 263

- От редколлегии** 272

Content

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

- Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V.** Assignment of the dimensions of the calculation schemes in computer simulation of the stress state of the plate foundation base based on the finite element method 5
- Bondarev B. A., Akchurin T. K., Dushko O. V., Sturova V. A., Zhidkov V. K.** Evaluation of the wear of the elements of the railings and ways to increase their durability 18
- Ivanenko T. A., Vetrova N. M., Gaysarova A. A.** On the feasibility of development ecological and engineering solutions for landslide protection of coastal zones of Crimea 28
- Kornienko S. V., Brehov E. M.** Thermal features of the ground floor in green buildings 38

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

- Artemova S. G., Barlit O. B., Nurakhunov N. M.** Improvement of the system of methods of selection of materials for road marking 48
- Bondarev B. A., Akchurin T. K., Dushko O. V., Bondarev A. B., Tkacheva I. A., Zhidkov V. K.** Analysis of defects and damages of pave structures on the roads of industrial enterprises and ways to eliminate them 58
- Borovkov D. P., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Logacheva E. N., Shvetsov E. I.** Experimental studies of the influence of highways on the characteristics dustiness of atmospheric air cities of the Caucasian Mineral Waters region 67
- Shishkin E. A.** Selection of the operating modes of compactors for asphalt-concrete mixtures 78

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

- Taranov O. V., Akchurin T. K., Belyakova E. A., Dushko O. V.** Prospects for the use of complex organomineral additives in new generation concrete 88

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

- Burlachenko O. V., Risunov A. R., Soboleva E. D., Vorobeva A. D.** Technological solutions for modernization equipment that increases operational indicators of construction machines on the example of an excavator 99

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

- Akhmedova O. O., Soshinov A. G., Virt A. E., Vdovichenko V. V.** Analysis of the water treatment plant market 107
- Butko D. A., Fesenko L. N., Shishova O. P.** Reagent clarification of washing water of filters of water treatment stations in the lower stretch of the Don 118
- Vurdova N. G., Yur'ev Yu. Yu., Broshko O. S., Timofeev A. G., Izotov V. V., Moskvicheva E. V., Lyashenko I. S.** Development of best available water treatment technologies for industrial enterprises 130
- Vurdova N. G., Broshko O. S., Yur'ev Yu. Yu., Izotov V. V., Timofeev A. G., Moskvicheva E. V., Bastrykin E. A.** Technological approach to the organization of low-voltage systems at oil refining enterprises 140
- Dyagelev M. Yu.** Experience of detecting a pollutant in a model solution by spectrophotometric method 149

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION. HYDRAULIC SYSTEM AND ENGINEERING HYDROLOGY

- Matvienko O. V., Firsanova N. S.** Study of the steady flow of a thickening liquid in a cylindrical tube 157
- Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Lebedev V. N., Tezikov D. A., Groshev V. V., Uskova D. A.** Energy and resource saving packed contact devices for evaporative cooling apparatus of industrial circulating water supply system 168

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Ivanova N. V., Ganzha O. A.** Architectural and landscape organization objects of recreational activity on territories of the island of Golodnyi Volgograd 180
- Korosteleva N. V., Kamnev A. V., Akimova K. V.** Prospects for urban development of gully and beam systems of the city of Volgograd 192

GENERAL ARCHITECTURE

- Blazhnov A. A.** Spot development: an opportunity rational formation of household territories on complex relief 202

Valkovskaya M. D., Matovnikova N. G., Samoylenko P. V. The usage of modern approaches in design residential interiors	209
Matovnikova N. G., Samoylenko P. V., Kokina A. D. Improvement of city embankments as an important aspect of creating a comfortable urban environment	222
Rusanov V. A., Casanova E. V., Kazanova N. V., Chilikin D. V. Preserving the identity of southern Russian cities through increasing the variety of apartment building types	234
URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT	
Belyaeva E. L. Questions of the methodology of landscaping design historical and natural territories in the context of digitalization	243
INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Ignatyev A. V., Ignatyev V. A., Galishnikov I. A. The problem of the content of terms used in information modeling of construction objects	256
Krasilnikov V. P., Andrianov A. V., Krasilnikov P. A. On the relevance of BIM-technology in geotechnical surveys	263
From Editorial Team	272

УДК 624.131

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

^а Тюменский индустриальный университет

^б Волгоградский государственный технический университет

НАЗНАЧЕНИЕ РАЗМЕРОВ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Задачей, которую необходимо решить методом конечных элементов, является определение значений обобщенных прочностных параметров грунта основания $\sigma_{св}^{R*}$ и $\sigma_{св}^R$, $\sigma_{св}^{пл*}$ и $\sigma_{св}^{пл}$, при которых глубина ΔZ развития кулоновских областей пластических деформаций (ОПД) под краями фундамента конечной жесткости толщиной H , нагруженного равномерно распределенной нагрузкой переменной интенсивности q , и фундамента той же толщины, несущего жесткую надфундаментную конструкцию переменной высоты H^* , будет соответствовать развитию пластических областей под подошвой фундамента на глубину, равную четверти его ширины, и смыканию их на некоторой глубине под подошвой фундамента, что соответствует равенству внешней нагрузки величине расчетного сопротивления R и предельно допустимому ее значению (по Прандтлю). Формулы Н. П. Пузыревского и Л. Прандтля никоим образом не учитывают жесткость фундамента, численные значения коэффициентов Пуассона μ (коэффициентов бокового давления ξ_0) грунта и материала фундамента, ширины, толщины, глубины заложения последнего, а также высоту и жесткость надфундаментной конструкции. Очевидно, поэтому результаты многих теоретических и экспериментальных исследований говорят о завышенных значениях величин расчетного сопротивления R и предельно допустимой нагрузки $P_{кр}^2$ (второй критической нагрузки), получаемых по формулам Н. П. Пузыревского и Л. Прандтля.

Для того чтобы при проведении вычислений получать достоверные значения $\sigma_{св}^{R*}$ и $\sigma_{св}^R$, $\sigma_{св}^{пл*}$ и $\sigma_{св}^{пл}$, необходимо определить такие размеры расчетной схемы, при которых (при условии наложения на нее тривиальных граничных условий в перемещениях) их дальнейшее увеличение не будет оказывать влияние на размеры пластических областей при фиксированных значениях переменных расчетных параметров, определяющих размеры ОПД. Впоследствии, ориентируясь на численные значения $\sigma_{св}^{R*}$ и $\sigma_{св}^R$, $\sigma_{св}^{пл*}$ и $\sigma_{св}^{пл}$, можно определить величины γ_0 , φ , c , E_0 , которые должны быть получены в процессе закрепления грунтового основания, чтобы заданная внешняя нагрузка не превышала величины расчетного сопротивления или предельно допустимой нагрузки.

Ключевые слова: метод конечных элементов, граничные условия, однородное основание, фундамент конечной жесткости, жесткость надфундаментной конструкции, обобщенный параметр прочности грунта — давление связности, расчетное сопротивление, предельно допустимая нагрузка.

Введение

Применяемые в настоящее время методы расчета несущей способности оснований фундаментов, нагруженных центральной вертикальной нагрузкой, базируются на расчетной схеме, предложенной Л. Прандтлем [1].

Л. Прандтлем решена (для случая плоской деформации) задача теории идеальной пластичности о вдавливании жесткого штампа в полупространство. Используя условие пластичности Треска — Сен-Венана, им определены: глубина развития очага больших пластических деформаций, протяженность зон деформаций на свободной поверхности, напряженное состояние

в пластической области, контактные напряжения и сила внедрения пуансона в полупространство при отсутствии контактного трения.

Позже оказалось, что решение Л. Прандтля не является единственно верным. Р. Хилл [2] предложил еще одно кинематически возможное поле линий скольжения, и соответствующая расчетная схема также нашла применение в механике грунтов. Оба решения дают одинаковые выражения для величины нормального напряжения по контактной поверхности. Однако исторически сложилось так, что в подавляющем большинстве случаев методы расчета несущей способности оснований базируются на расчетной схеме, приведенной на рис. 1.

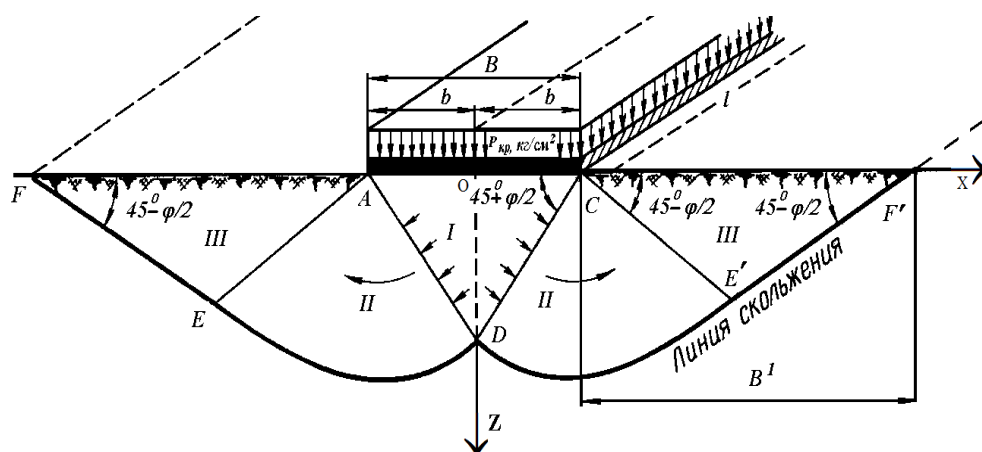


Рис. 1. Расчетная схема Л. Прандтля: ADC — упругое ядро (I); AED и CDE' — области пластических деформаций (II); AEF и $CE'F'$ — зоны Ренкина (III)

Прикладывая к поверхности грунта нормальную равномерно распределенную нагрузку, интенсивность которой постепенно возрастает, сначала наблюдаем уплотнение грунта, которое происходит до тех пор, пока под краями нагрузки (точки A и C , рис. 1) не возникнут локальные сдвиги. В этих точках возникнет предельное состояние, когда выполняется условие прочности Кулона [3, 4], три возможные транскрипции которого приведены ниже:

$$\begin{cases} \sigma_1 - \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_2 + 2\sigma_{св}) \sin \varphi \\ \text{или} \\ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_1 + \sigma_2 + 2\sigma_{св})^2 \sin^2 \varphi, \\ \text{или} \\ \operatorname{tg} \theta_{\max} = \operatorname{tg} \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

где σ_1 и σ_2 ; σ_x ; σ_z и τ_{xz} — безразмерные (в долях γh) главные нормальные напряжения и компоненты напряжения в рассматриваемой точке; $\sigma_{св} = C(\gamma h \operatorname{tg}(\varphi))^{-1}$ — приведенное давление связности; C , φ , γ и θ_{\max} — соответственно удельное сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес грунта и угол максимального отклонения; h — глубина заложения фундамента.

Формулу для отыскания величины равнодействующей этой нагрузки, которая называется первой критической нагрузкой $P_1^{кр}$, впервые предложил Н. П. Пузыревский [5]:

$$P_1^{кр} = \frac{\pi(\gamma h + c \cdot \operatorname{ctg}\varphi)}{\operatorname{ctg}\varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma h. \quad (2)$$

Считается, если области пластических деформаций (ОПД) развиты под подошву фундамента на глубину $\Delta z \leq b/4$, то можно считать грунтовое основание квазилинейно деформируемым. Нагрузка, при которой выполняется условие $\Delta z \leq b/4$, называется расчетным сопротивлением, а ее величина вычисляется при помощи формулы:

$$R = \frac{\pi(0,25\gamma b + \gamma h + c \cdot \operatorname{ctg}\varphi)}{\operatorname{ctg}\varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma h. \quad (3)$$

Выполнение условия $P \leq R$ означает, что расчет осадок основания можно выполнять в линейной постановке.

Анализ формулы (3) показывает, что при увеличении ширины фундаментной плиты b (входит в числитель выражения (3)) вычисляемая при ее помощи величина R может значительно возрасти, на что обращает внимание А. В. Пилягин [6, 7]. О том, что величина расчетного сопротивления основания R , вычисляемая по формуле (5.7) СП 22.13330.2016¹, имеет весьма завышенные значения, говорится и в работах [8—11].

При дальнейшем увеличении интенсивности нагрузки происходит полное исчерпание несущей способности грунтового основания, знаменующееся смыканием ОПД и завершением формирования упругого грунтового ядра (точка D и ΔADC , рис. 1), которое распирает грунт слева и справа от себя, что влечет за собой глобальные деформации основания, сопровождающиеся выпором грунта. Нагрузка, соответствующая этому моменту, называется второй критической (предельно допустимой) нагрузкой $P_{кр}^2$.

Впервые формула для определения этой величины для невесомого основания, находящегося под действием полосовой равномерно распределенной нагрузки интенсивности q , получена Л. Прандтлем [1] и Х. Рейснером [12]:

$$P_{кр}^2 = P_{пд} = (q + c \cdot \operatorname{ctg}\varphi) \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} e^{\pi \operatorname{ctg}\varphi} - c \cdot \operatorname{ctg}\varphi. \quad (4)$$

Рассматривая формулы (3), (4) видим, что в них никоим образом не учитывается жесткость фундамента, численные значения коэффициентов Пуассона μ (коэффициентов бокового давления ξ_0) грунта и материала фундамента, его ширина, толщина, глубина заложения и т. д. Может быть поэтому результаты многих теоретических [13—17] и экспериментальных исследований [18—20] говорят о завышенных значениях величин R и $P_{кр}^2$, получаемых при помощи этих формул.

¹ СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83*. М. : Стандартинформ, 2020. 160 с.

Конечно, получить аналитическое решение задач об определении R и $P_{кр}^2$, которое учитывало бы все вышеперечисленные факторы, невозможно, поэтому на помощь приходят численные методы, например метод конечных элементов (МКЭ).

1. Постановка задачи

Использование МКЭ предполагает разработку механико-математической модели исследуемого объекта с соответствующей расчетной схемой, дискретизацию ее на конечные элементы и наделение их соответствующими физико-механическими свойствами. Основной операцией, от которой в огромной степени зависит достоверность получаемых при помощи МКЭ результатов, является назначение граничных условий, накладываемых на расчетную схему (РС).

Идеальным является случай, когда результат численного решения может быть сопоставлен с результатом, полученным на основе аналитического решения. При этом, варьируя граничными условиями, можно добиться совпадения результатов численного и аналитического решений. Граничные условия, при которых происходит такое совпадение, принимаются при проведении расчетов МКЭ [21].

Если это сделать невозможно, то на прямоугольную (как в нашем случае) РС накладываются тривиальные граничные условия — в точках, лежащих на ее вертикальных границах, горизонтальные перемещения равны 0, а вертикальные не ограничены. В точках РС, расположенных на ее нижней горизонтальной границе, напротив, отсутствуют вертикальные перемещения, а горизонтальные не ограничены; крайние точки нижней границы неподвижны, на перемещения точек, расположенных внутри расчетной схемы, ограничения не наложены. В этом случае размеры РС должны быть такими, что граничные условия, накладываемые на конечно-элементную РС, не оказывают влияния на величину и характер распределения исследуемых параметров [22]. Если РС МКЭ абсолютно симметрична относительно вертикальной оси (как в нашем случае), то при численном моделировании можно рассматривать лишь одну ее половину [23].

В настоящей работе поставлена задача об определении размеров РС, предназначенных для численного анализа процесса развития пластических областей в однородном грунтовом основании плитного фундамента конечной жесткости с учетом и без учета жесткости надфундаментной конструкции. Эта задача решена МКЭ, который формализован в компьютерных программах [24—26].

2. Построение РС

2.1. Плитный фундамент с жесткой надфундаментной частью

Как отмечено выше, ввиду симметричности исследуемой области при компьютерном моделировании можно составлять РС только для ее половины (рис. 2, а). Тогда РС представим в виде прямоугольника $OABC$ с размерами (в первом приближении) $AB = X / H_3 = 13$, $OC = Z / H_3 = 15$. При проведении моделирования принято, что полуширина фундамента $b = 3H_3$, а высота надфундаментной части сооружения $H^* = 6H_3$.

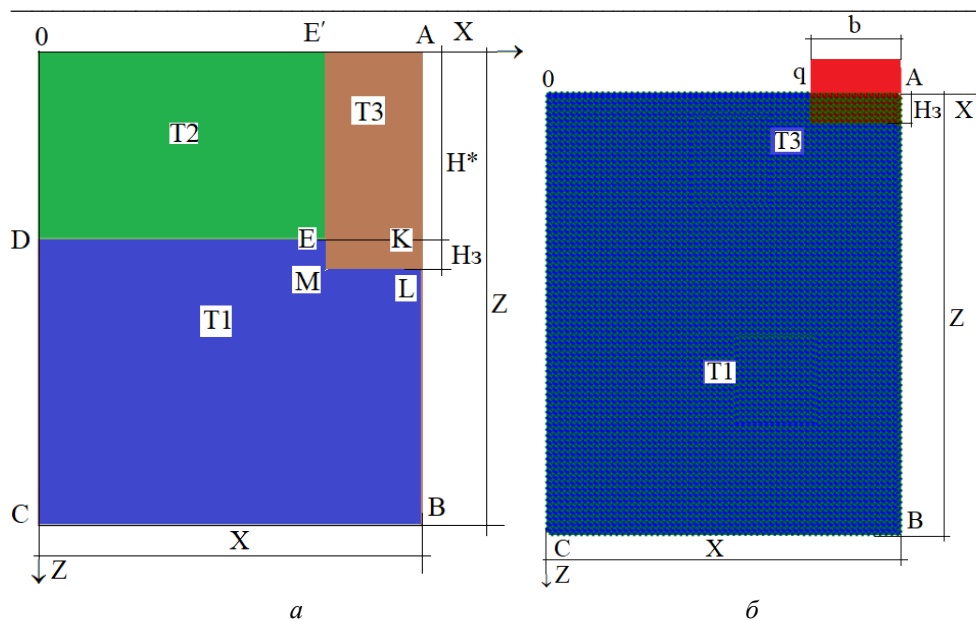


Рис. 2. Половины расчетных схем для жесткого фундамента с учетом: *a* — жесткости надфундаментной конструкции; *б* — фундамента, находящегося под действием эквивалентной по силовому воздействию равномерно распределенной нагрузки

Прямоугольник $OABC$ разбит (опять же в первом приближении) на 9000 конечных элементов, являющихся равнобедренными прямоугольными треугольниками с вертикальными и горизонтальными катетами, длина которых равна $H_3 / 5$. Эти элементы сопряжены в 4636 узлах, а ширина матрицы жесткости системы линейных уравнений при такой дискретизации равна 156.

В прямоугольнике $OABC$ выделены три прямоугольные области: прямоугольник с вырезом $BCDEML$ ($T1$), прямоугольник $OEED$ ($T2$) и прямоугольник $EALM$ ($T3$). $T1$, $T2$ и $T3$ — названия типов КЭ: $T1$ — это элементы, наделенные физико-механическими свойствами грунтового основания; $T2$ имеют свойства «пустой» области; элементам $T3$ присвоены общие физико-механические свойства материалов фундамента и надфундаментной конструкции. Повторимся еще раз, что на РС наложены тривиальные граничные условия (см. выше).

2.2. Плитный фундамент на однородном основании, находящийся под действием равномерно распределенной нагрузки

В этом случае РС (рис. 2, б) имеет те же размеры и ту же форму прямоугольника, что обуславливает те же параметры: количество элементов и узлов 9000 и 4636 соответственно, ширина матрицы жесткости — 156. Все элементы прямоугольника $OABC$ имеют тип $T1$. В этом прямоугольнике имеется прямоугольное включение шириной $b = 3H_3$ и высотой H_3 ; все элементы здесь являются элементами типа $T3$. Понятно, что это включение (рис. 2, б) играет в процессе моделирования роль плитного фундамента. К поверхности фундамента приложена равномерно распределенная нагрузка, интенсивность которой (в силовом смысле) эквивалентна нагрузке от надфундаментной части сооружения высотой H^* .

В качестве примера при проведении компьютерного моделирования было принято, что объемный вес материала фундамента и надземной части сооружения в 2 раза больше объемного веса грунта основания $\gamma^* = 2\gamma_0$ — если $H^* = 6H_3$, то $q = q^* = 12H\gamma_0$. Для удобства анализа результатов вычислений выберем две единицы масштаба так, чтобы выраженные в их долях ширина X и высота Z РС, интенсивность внешнего воздействия (q), напряжения (σ_z ; σ_x ; τ_{zx}), вертикальные и горизонтальные перемещения (v и u), модуль деформации (E) и приведенное давление связности $\sigma_{св} = C(\gamma \text{htg}(\varphi))^{-1}$ оказались бы безразмерными величинами. Поэтому в качестве линейной единицы масштаба выбрана глубина заложения фундамента H_3 , м, а единицей силового масштаба (масштабной единицы напряжений) выбрано произведение $\gamma_0 H_3$, имеющее размерность напряжений $\text{Н/м}^2 = \text{Па}$. Таким образом, все исходные данные для проведения расчетов будут задаваться в безразмерных единицах, и, как следствие, все результаты расчетов будут получаться в долях H_3 (v и u) либо в долях $\gamma_0 H_3$, т. е. являться безразмерными величинами. Такой подход формализован в компьютерных программах [24—26], которые использованы при проведении вычислений.

3. Результаты вычислений

Процесс подбора размеров расчетных схем заключался в следующем. Задачей, которую предстоит решить, является определение вертикальных осадок плитного фундамента S и величин обобщенного параметра прочности грунта $\sigma_{св}^*$ и $\sigma_{св}$, соответствующих значениям критических нагрузок R и $R_{кр}^2$ для плитного фундамента при учете жесткости надфундаментной конструкции ($\sigma_{св}^*$) и без такового ($\sigma_{св}$). Поэтому в настоящей работе исследовано влияние размеров РС на численные значения величин φ , $\sigma_{св}^*$ и $\sigma_{св}$, соответствующих моменту смыкания пластических областей под подошвой фундамента, и вертикальных напряжений σ_z , интенсивность которых оказывает доминирующее влияние на величину осадок фундамента.

Расчеты выполнены в следующей последовательности. Сначала постепенно увеличивали вертикальный Z размер РС до тех пор, пока значения вертикальных напряжений в соответствующих точках РС не стали практически постоянными. Затем для РС первоначальной высоты Z постепенно увеличиваем горизонтальный размер X , пока не добивались аналогичного эффекта. Такие размеры РС назовем оптимальными размерами $Z_{опт}$ и $X_{опт}$. После этого выполняется проверка: для РС с оптимальными размерами (напомним, что расчеты выполнены для половинок РС) отыскивают численные значения φ , $\sigma_{св}^*$, $\sigma_{св}$, σ_z и сравнивают их с численными значениями тех же величин, полученных на предыдущем этапе компьютерного моделирования.

На рисунках 3, 4 в качестве примера изображены картины изолиний вертикальных напряжений σ_x и областей пластических деформаций, соответствующие предельно допустимому значению нагрузки, в однородном основании жесткого штампа (E/E_0). При этом учитывается жесткость надфундаментной конструкции, половинная ширина которой равна $b = 3H_3$, а высота $H^* = 6H_3$; ширина РС постоянна и равна $X = 15H_3$, вертикальный размер последовательно принимает значения $Z = (15; 20; 25H_3)$.

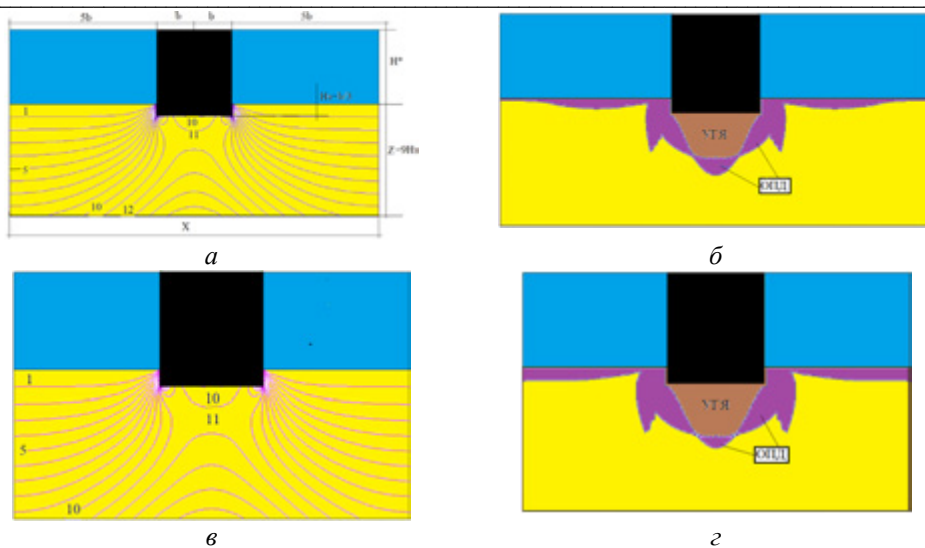


Рис. 3. Изолинии вертикальных напряжений σ_z и области пластических деформаций в однородном основании жесткого штампа (E/E_0) при $b = 3H_3$, $H^* = 6H_3$, линейных размерах РС $X = 13H_3$ и $Z = 15H_3$ (а, б) и $X = 15H_3$ и $Z = 15H_3$ (в, г) при $\sigma_{св} = 0,28$, $\varphi = 33,375^\circ$ (а, б) и при $\sigma_{св} = 0,28$, $\varphi = 35,45^\circ$ (в, г), соответствующие предельно допустимому значению нагрузки

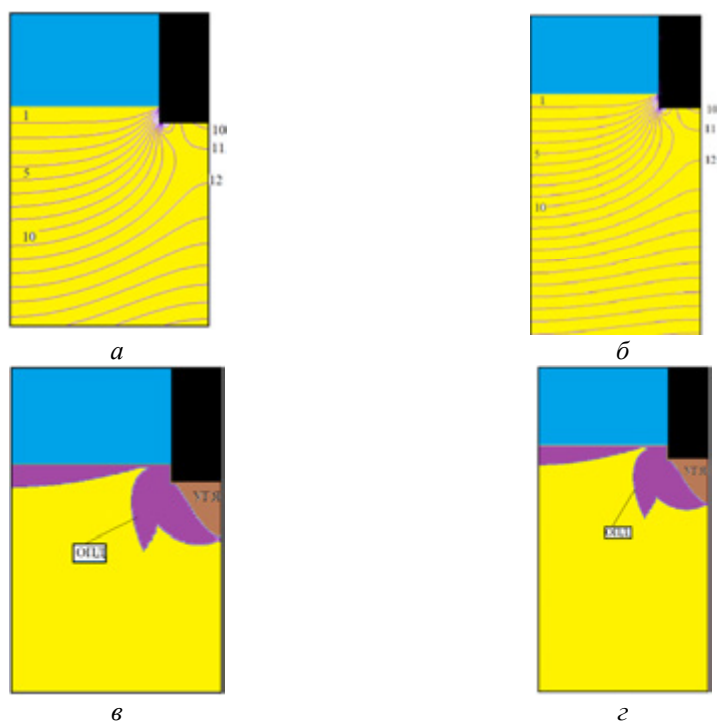


Рис. 4. Изолинии вертикальных напряжений σ_z (а, б) и области пластических деформаций (в, г) в однородном основании жесткого штампа (E/E_0) при $b = 3H_3$, $H^* = 6H_3$, линейных размерах РС $X = 15H_3$ и $Z = 20H_3$ (а, в) и $X = 20H_3$ и $Z = 25H_3$ (б, г) при $\sigma_{св} = 0,352$; $\varphi = 35^\circ$ (а, б) и при $\sigma_{св} = 0,258$; $\varphi = 35^\circ$ (в, г), соответствующие предельно допустимому значению нагрузки

На рисунке 5 приведены эпюры вертикальных напряжений σ_z , построенные по прямым линиям, параллельным оси OX и проходящим через точки с отметками $z = -7$ (контактные напряжения, рис. 5, $a-z$) и $z = -9$ (рис. 5, $\delta-z$) при высоте РС $Z / H_3 = (15; 20; 25; 36)$ соответственно.

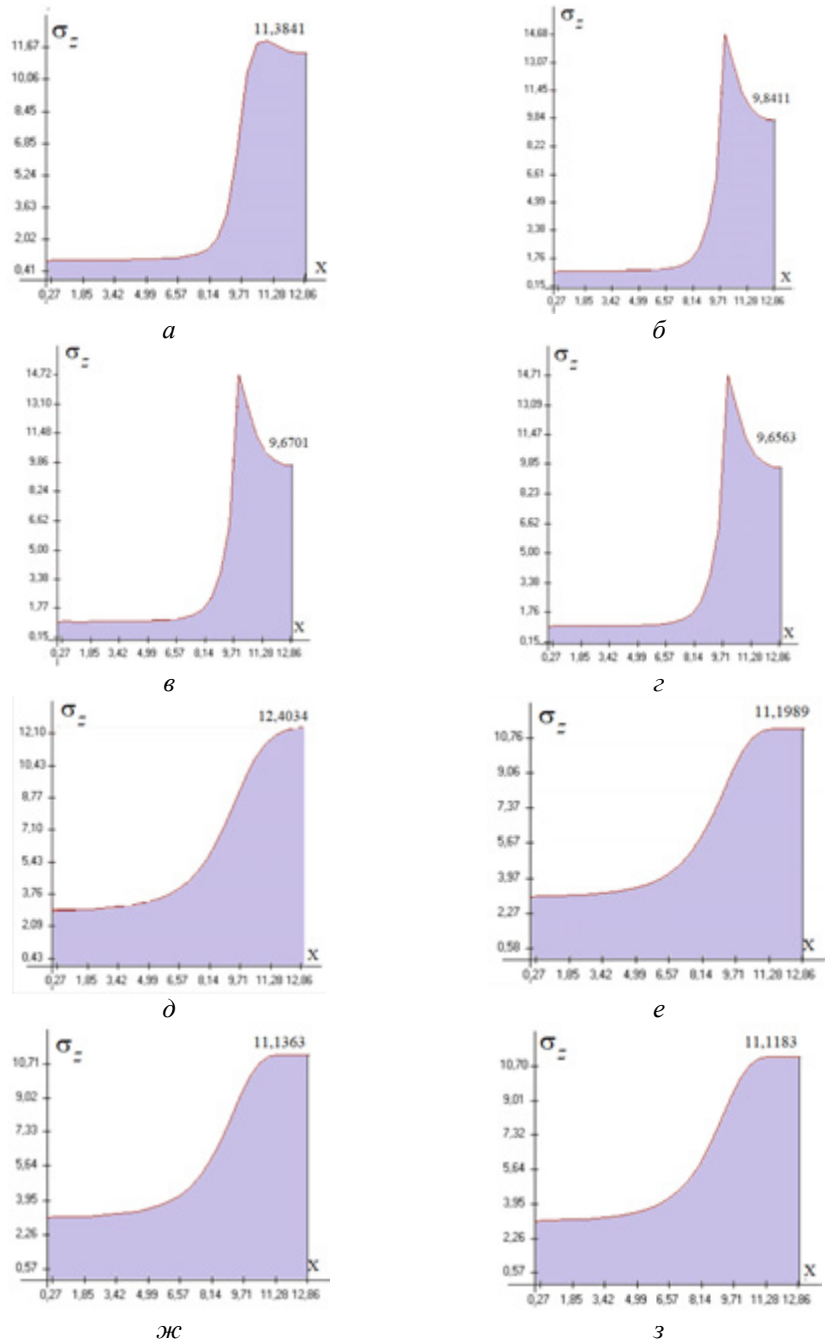


Рис. 5. Эпюры вертикальных напряжений σ_z , построенные на прямых, параллельных оси OX и проходящих через точки с координатами $x = 0$; $z = -7$ (контактные напряжения) ($a-z$) и $x = 0$; $z = -9$ ($\delta-z$) при меняющейся высоте РС $Z / H_3 = (15; 20; 25; 36)$ соответственно

На основе анализа результатов выполненных расчетов, графические интерпретации которых частично приведены выше, построены графические зависимости вида $\sigma_z = f(Z/H_3)$ (рис. 6) для точек, расположенных на оси симметрии фундамента непосредственно на подошве (контактное напряжение, $z = 2H_3$) (а) и на глубине $z = 2H_3$ от подошвы фундамента $z = -9$ (б). Анализ этих кривых показывает, что при $Z/H_3 \geq 25$ вертикальный размер РС практически не оказывает влияния на численные значения вертикальных напряжений в этих точках активной зоны фундамента.

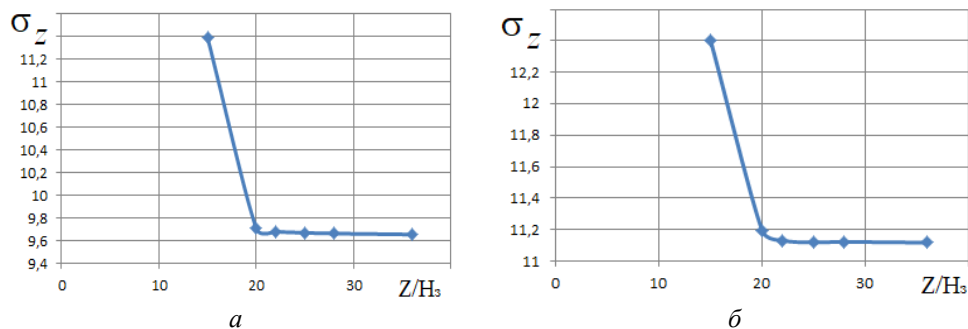


Рис. 6. Графические зависимости вида $\sigma_z = f(Z/H_3)$ для точек, расположенных на оси симметрии фундамента непосредственно на подошве (контактное напряжение) (а) и на глубине $Z = 2H_3$ от подошвы фундамента (б)

Из рисунка 7 видно, что при $Z/H_3 \geq 25$ вертикальный размер РС также не оказывает практически никакого влияния на численные значения угла внутреннего трения φ и приведенного обобщенного параметра прочности грунта основания $\sigma_{св}^*$ для условий, соответствующих предельному состоянию основания (смыканию областей пластических деформаций).

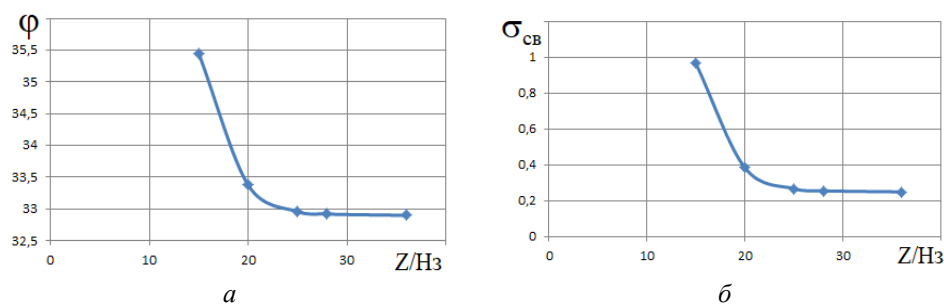


Рис. 7. Графические зависимости $\varphi = f(Z/H_3)$ при $\sigma_{св} = 0,28$ (а) и $\sigma_{св} = f(Z/H_3)$ при $\varphi = 33$ (б) при фиксированном значении $E/E_0 = 10$

Исследования, проведенные с целью изучения влияния ширины РС X на результат вычислений, показали, что этот параметр практически не оказывает влияния на численные значения вертикальных напряжений σ_z в рассмотренных точках; влияние же величины X на вычисляемые при различных ее

значениях величины φ и $\sigma_{св}$ аналогично тому, что описывается кривыми, приведенными на рис. 7 (рис. 8).

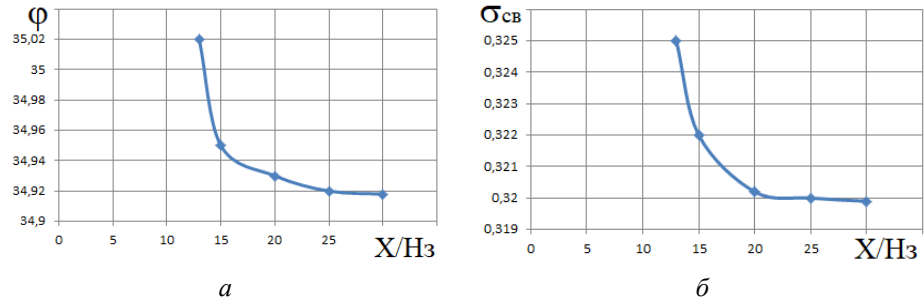


Рис. 8. Графические зависимости $\varphi = f(Z/H_3)$ при $\sigma_{св} = 0,32$ (а) и $\sigma_{св} = f(Z/H_3)$ при $\varphi = 35^\circ$ (б) при фиксированном значении $E/E_0 = 10$

При проведении моделирования установлено, что влияние размеров РС на результаты вычисления предельных значений φ и $\sigma_{св}$ для случая, описанного в п. 2.2, оказалось менее значительным того, что соответствует РС, описанной в п. 2.1.

Следует отметить, что максимальные размеры РС, которые использовались при проведении исследования, равны $25H_3 \times 46H_3$. Схема состояла из 57 500 конечных прямоугольных равнобедренных треугольников, сопряженных в 29 106 узлах, а ширина матрицы системы линейных уравнений равна 466.

Заключение

Существуют работы [23—27], в которых говорится, что размеры конечно-элементных схем, обеспечивающих минимальное влияние граничных условий на получаемый результат, должны быть не менее 6 максимальных линейных размеров исследуемого объекта. Нам представляется, что эта рекомендация должна быть несколько скорректирована.

Нами установлено, что оптимальными размерами для РС, составленных для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния однородных оснований плитных фундаментов с жесткой надфундаментной частью (и без таковой), являются такие, когда РС простирается вниз от подошвы фундамента на расстояние не менее $25H_3$, а ее ширина $X \geq 30H_3$. При таких линейных размерах расчетных схем влияние тривиальных граничных условий на результаты вычислений сводится практически к нулю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Prandtl L. Uber die Harte plastischer Korher // Gotinger Nachr. Math. phys. 1920. K. 1. S. 74—85.
2. Hill R. The plastic yielding of notched bars under tersion // Quart, Journal Appl. Math. 1949. Vol. 40. No. 2. Pp. 40—52.
3. Coulomb C. A. Application des riles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L'architecture. Memories de savants strangers de L'Academlie des sciences de Paris, 1773. 233 p.
4. Coulomb C. A. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemesde statique relatifs, a la architecture. Paris : Memoires de Mathematique de l'Academie Royale de Science, 1776. Vol. 7. Pp. 343—387.

5. Пузыревский Н. П. Теория напряженности земляных грунтов. Л. : Ленингр. ин-т инженеров путей сообщения, 1929. 66 с.
6. Пилягин А. В. Определение расчетного сопротивления оснований при различных схемах загрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1998. № 4, 5. С. 28—31.
7. Пилягин А. В. К вопросу определения расчетного сопротивления оснований при различных схемах загрузки // Известия КГАСА. 2004. № 1(2). С. 43—44.
8. Осокин А. И., Скворцов К. Д. Оптимизация формулы расчетного сопротивления грунта // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 117—122.
9. Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Вайнгольц А. И., Ермаков О. В. Сопоставление результатов расчета несущей способности двухслойного основания заглубленного ленточного фундамента различными способами // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. № 2. С. 106—116.
10. Van Baars S. Numerical check of the Meyerhof bearing capacity equation for shallow foundations // Geoinfo[™]. No. 4. 2017. URL: https://geoinfo.ru/files/Num_Check_Meyerhof.pdf.
11. Reissner H. J. Zum Erddruckproblem // Proceedings of the 1st Int. Congress for Applied Mechanics. Delft. The Netherlands: C. B. Biezeno and J. M. Burgers, eds., 1924. Pp. 295—311.
12. Богомолов А. Н., Калиновский С. А., Богомолова О. А., Прокопенко А. В. Коэффициент бокового давления грунта как одна из величин, определяющих несущую способность однородного основания ленточного фундамента // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. С. 251—257.
13. Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Шиян С. И. К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. Вып. 7(26). С. 6—10.
14. Гольдштейн М. Н., Кушнер С. Г., Шевченко М. И. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. Киев : Будівельник, 1977. 208 с.
15. Van Baars S. Failure mechanisms and corresponding shape factors of shallow foundations // 4th Int. Conf. on New Development in Soil Mech. and Geotech. Eng., Nicosia. 2016. Pp. 551—558.
16. Van Baars S. The influence of superposition and eccentric loading on the bearing capacity of shallow foundations // Journal of Computations and Materials in Civil Engineering, 2016. Vol. 1. No. 3. Pp. 121—131.
17. Vesic A. S Analysis of ultimate loads of shallow foundations // Journal Soil Mech Found. 1973. Vol. 99. No. 1. Pp. 45—76.
18. Vesic A. S., Winterkorn H. F., Fan H. Y. Bearing capacity of shallow foundations // Foundation Engineering Handbook. Van Nostrand Reinhold, New York. 1975. Pp. 121—147.
19. Zhu M., Michalowski R. L. Shape Factors for Limit Loads on Square and Rectangular Footings // Journal of Geotechnical and Environmental Engineering. 2005. Pp. 223—231.
20. Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Ushakov A. N. Calculation of slopes stability based on the energy approach. Challenges and Innovations in Geotechnics // Proceedings of 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris, 2013. Pp. 2145—2148.
21. Zienkiewicz O. C. The finite element method in engineering science. London : McGraw-Hill, 1971. 531 p.
22. Влияние вида расчетной схемы на результаты расчета несущей способности основания ленточного фундамента / О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, А. И. Вайнгольц, Р. С. Нестеров, А. В. Прокопенко, А. Н. Ушаков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 29(48). С. 36—41.
23. Szmelter J., Dacko M., Dobrociński S., Wieczorek M. Metoda elementón skończonych w statyce konstrukcji. Warszawa: Wydawnictwo Arkady, 1979. 219 s.
24. Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614399 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян. Волгоград : ВолГАСУ. 2009.
25. Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Редин А. В., Ушаков А. Н. FEA: Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015617889. Волгоград : ВолГАСУ, 2015.

26. Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V. Computer simulation of rigid plate settlement on a homogeneous weight base // Construction and Geotechnics. 2022. Vol. 13. No. 2. Pp. 5—17.

27. Knudsen B. S., Mortensen N. Bearing capacity comparison of results from FEM and DS / EN 1997—1 DK NA 2013. Northern Geotechnical Meeting 2016. Reykjavik, 2016. Pp. 577—586.

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

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Бартоломей Л. А., Богомолова О. А., Гейдт В. Д., Гейдт А. В. Назначение размеров расчетных схем при компьютерном моделировании напряженного состояния основания плитного фундамента на основе метода конечных элементов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 5—17.

Об авторах:

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

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

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

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

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

^a Industrial University of Tyumen

^b Volgograd State Technical University

ASSIGNMENT OF THE DIMENSIONS OF THE CALCULATION SCHEMES IN COMPUTER SIMULATION OF THE STRESS STATE OF THE PLATE FOUNDATION BASE BASED ON THE FINITE ELEMENT METHOD

The task to be solved by the finite element method is to determine the values of generalized strength parameters of the foundation soil σ_{cb}^{R*} , σ_{cb}^R , σ_{cb}^{m*} , σ_{cb}^m , at which the depth ΔZ of the development of Coulomb areas of plastic deformations under the edges of the foundation of finite stiffness thickness H , loaded with a uniformly distributed load of variable intensity q , and the foundation of the same thickness, bearing a rigid foundation structure of variable height H^* , it will correspond to the development of plastic areas under the sole of the foundation to a depth equal to a quarter of its width, and their closure at a certain depth under the sole of the foundation, which corresponds to the equality of the external load to the value of the calculated resistance R and its maximum permissible value (according to Prandtl). The formulas of N. P. Puzyrevsky and L. Prandtl in no way take into account the rigidity of the foundation, the numerical values of the Poisson coefficients μ (lateral pressure coefficients ξ_0) of the soil and the foundation material, the width, thickness, depth of the latter, as well as the height and rigidity of the foundation structure. Obviously, therefore, the results of many theoretical and experimental studies indicate overestimated values of the calculated resistance R and the maximum permissible load $P_{кр}^2$ (the second critical load) obtained by the formulas of N. P. Puzyrevsky and L. Prandtl.

In order to obtain reliable values during calculations σ_{cb}^{R*} , σ_{cb}^R , σ_{cb}^{III*} , σ_{cb}^{III} , it is necessary to determine such dimensions of the design scheme at which (provided that trivial boundary conditions in displacements are imposed on it) their further increase will not affect the dimensions of plastic regions at fixed values of the variables of the design parameters determining the dimensions of the areas of plastic deformations. Subsequently, focusing on numerical values σ_{cb}^{R*} , σ_{cb}^R , σ_{cb}^{III*} , σ_{cb}^{III} , it is possible to determine the values of γ_0 , φ , c , E_0 , which must be obtained in the process of fixing the soil base so that the specified external load does not exceed the calculated resistance or the maximum permissible load.

Key words: finite element method, boundary conditions, homogeneous base, foundation of finite rigidity, rigidity of the foundation structure, generalized parameter of soil strength — connectivity pressure, design resistance, maximum permissible load.

For citation:

Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geidt V. D., Geidt A. V. [Assignment of the dimensions of the calculation schemes in computer simulation of the stress state of the plate foundation base based on the finite element method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 5—17.

About authors:

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

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

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

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

УДК 625.71.8

Б. А. Бондарев^а, Т. К. Акчури^б, О. В. Душко^б, В. А. Стурова^а, В. К. Жидков^а

^а *Липецкий государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ОЦЕНКА ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРИЛЬНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Описаны дефекты и износ перил, перечислены виды повреждений, распространенность (длина поврежденных участков перил) и определены максимальные значения износа. Приведены графические изображения потери устойчивости перильных ограждений, интенсивного разрушения бетона с обнажением арматуры, сплошной коррозии металлической поверхности элементов конструкции, а также разрушения крепления элементов к мостовому сооружению и потери вертикальности и устойчивости. Предложена альтернатива традиционным материалам, и приведены результаты проведенных испытаний.

К л ю ч е в ы е с л о в а: износ, устойчивость, коррозия, перильные ограждения.

Перилами моста именуются ограждающие устройства по тротуарам [1]. Они могут быть различного типа: железобетонные, металлические, стоечные, бесстоечные, с колонами освещения или без них и т. д. Современными являются бесстоечные перила.

По способу закрепления можно различать перильные ограждения омоноличенные с тротуарным блоком, установленные в анкерные стаканы или закрепленные с помощью сварки на закладные детали.

Перила рассчитываются на горизонтальное сосредоточенное давление на верх поручня ($h = 1,10$ м) величиной в 130 кг и ветра 180 кг/м² с коэффициентом сплошности перильной решетки 0,3...0,8 [2].

Иногда в плоскости перил устанавливают улавливающее тросовое ограждение. Тогда расчет перильных стоек ведется индивидуально. Такой случай возможен, если габарит моста менее 7 м и нельзя установить ограждения обычного типа.

Перила, особенно городских мостов, играют роль не только защитного приспособления, предохраняющего пешехода от падения с моста, но являются хорошо обозреваемой архитектурной деталью (например, Сокольский путепровод в г. Липецке).

В 1960—1980-е годы большое распространение получили железобетонные перила, состоящие из стоек, нижнего обвязочного бруса, поручня и наборных элементов заполнения различного рисунка, входящих в пазы обвязочных брусов и поручня.

Соответствие функциональному назначению (предотвращение падения людей с моста) оценивается для перил по величине поперечного усилия, которое перила могут воспринять без повреждения, и по высоте перил. Поскольку нормами определено расчетное сосредоточенное усилие, равное 140 кг при высоте перил 1,1 м, износ перил следует определять как снижение несущей способности узла крепления стоек по сравнению с предельным моментом в заделке, $M_{\text{пред}} = 0,154$ тм. Снижение на 50 % требуемой несущей

способности перил на длине $\geq 50\% L_m$ (по одной стороне) считается предельным.

Вторым критерием оценки функциональных качеств перил является их высота. Показатель износа по критерию высоты считается предельным, если на длине $\geq 50\% L_m$ (по одной стороне) безопасная высота снижена на 25 %, т. е. до величины $H_\phi = 0,82 \text{ м}$ ¹.

Значение износа перил определяется по формуле:

$$И = Д \cdot K_n \frac{L_\phi}{L_m} 100\%, \quad И \leq 100\%, \quad (1)$$

где $Д$ — показатель дефектности поврежденного участка перил, определяемый по формуле

$$Д = 1 - \frac{N_\phi}{N}$$

или

$$Д = 1 - \frac{H_\phi}{1,1}, \quad (2)$$

где N_ϕ , N — фактическая и требуемая несущая способность перил; L_ϕ — фактическая длина поврежденного участка перил (принимается по наиболее поврежденной нитке перил); L_m — длина моста; H_ϕ — фактическая высота перил; K_n — коэффициент опасности повреждения перил ($K_n = 5$ — при оценке износа по критерию «высота» или $K_n = 3$ — при оценке износа по критерию «несущая способность»).

Различают 3 пороговых уровня износа перил:

- $И = 10\%$ — дефекты и повреждения не влияют на безопасность прохода пешеходов;

- $И = 30\%$ — допустимый износ — предел удобства прохода пешеходов, при котором имеет место незначительное снижение безопасности прохода; повышение указанной величины износа требует введения ограничений движения пешеходов (уменьшается ширина или число полос пешеходного прохода, устанавливаются временные дополнительные стойки или барьеры и т. д.);

- $И = 75\%$ — предельный износ, при достижении которого движение по тротуару должно быть закрыто.

Для ориентировочной оценки износа по внешним признакам при $H_\phi \geq 1,1 \text{ м}$ можно использовать классификационную табл. 1².

На рисунках 1—5 приведены наиболее характерные дефекты и повреждения перил мостовых сооружений.

¹ РДН 218.05.001—2010. Региональные дорожные нормы. Оценка и прогнозирование состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах Краснодарского края, планирование работ по их содержанию, ремонту, капитальному ремонту и реконструкции. Краснодар, 2010. 230 с.

² Там же.

Таблица 1

Дефекты и износ перил

Вид повреждения	Распространенность (длина поврежденных участков перил), % суммарной длины	Максимальное значение износа, И, %
1. Повреждение окраски или штукатурки	100	10
2. Повреждение на ширину до 5 см кромок бетона плиты, в которую заделываются стойки перил	50	20
3. Повреждение заполнений в секции перил (в каждой секции не менее 50 % заполнения) или расшатывание перил из-за повреждения консолей плит	50	50
4. Падение секций перил	25	75



Рис. 1. Пролет 1. Верховая сторона. Блок 1. Перильное ограждение. Потеря устойчивости ограждения. Опасность обрушения



Рис. 2. Пролет 2. Низовая сторона. Перильное ограждение. Блок 14. Интенсивное разрушение бетона с обнажением арматуры



Рис. 3. Перильное ограждение. Сплошная коррозия металлической поверхности элементов конструкции



Рис. 4. Крен конструкции перильного ограждения. Разрушение крепления элементов к мостовому сооружению



Рис. 5. Крен конструкции перильного ограждения. Потеря вертикальности и устойчивости

Результат диагностики мостовых сооружений показывает, что в большинстве случаев (80 %) перильные ограждения теряют свою работоспособность, и дальнейшая их эксплуатация становится невозможной. Одним из способов повышения долговечности и работоспособности перильных ограждений является применение для их изготовления полимерных композиционных материалов (стеклопластиков) [3—5], которые имеют ряд неоспоримых преимуществ:

- прочность, не уступающую металлу;
- малый удельный вес;
- электроизоляционные свойства;
- устойчивость к перепадам температуры;
- низкую теплопроводность;
- сопротивляемость влаге;
- внешний вид;
- устойчивость к коррозии;
- долгий срок службы³.

Стеклопластик — композиционный материал, состоящий из стеклянного наполнителя и синтетического полимерного связующего. Наполнителем служат, в основном, стеклянные волокна в виде нитей, жгутов (ровингов), тканей, матов, рубленых волокон; связующим — полиэфирные, фенолформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические смолы, полиимиды, алифатические полиамиды, поликарбонаты и др. Для стеклопластика характерно сочетание высоких прочностных, диэлектрических свойств, сравнительно низкой плотности и теплопроводности, высокой атмосферо-, водо- и химстойкости [6—8].

³ Технические условия: ТУ 1104—001—39910803—2018. Ограждения пешеходные из композитных материалов. М., 2018. 37 с.

Для изучения возможности применения полимерных композиционных материалов в элементах конструкции перил необходимо провести комплексные испытания на следующие виды механических воздействий:

- сжатие (ГОСТ 25.602—80)⁴;
- изгиб (ГОСТ 33344—2015)⁵;
- ударная прочность (ГОСТ 4547—2015)⁶.

Испытания на сжатие [7, 8]

Предел прочности на сжатие в направлении 0° не менее 150 МПа. Предел прочности на сжатие в направлении 90° не менее 70 МПа. Определяется по ГОСТ 33344—2015 (прил. Д) и ГОСТ 9550—81⁷ (рис. 6).



Рис. 6. Испытания элемента на сжатие

Предел прочности на сжатие в направлении 0°:

$$\text{образец 1} \quad \sigma_p = \frac{148000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 148 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 2} \quad \sigma_p = \frac{153000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 153 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 3} \quad \sigma_p = \frac{156000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 156 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 4} \quad \sigma_p = \frac{149000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 149 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 5} \quad \sigma_p = \frac{157000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 157 \text{ МПа};$$

среднее значение для всех образцов:

$$\sigma_p^{\text{ср}} = \frac{148 + 153 + 156 + 149 + 157}{5} = 152,6 \text{ МПа.}$$

Предел прочности на сжатие в направлении 90°:

$$\text{образец 1} \quad \sigma_p = \frac{76000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 76 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 2} \quad \sigma_p = \frac{73000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 73 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 3} \quad \sigma_p = \frac{68000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 68 \text{ МПа};$$

⁴ ГОСТ 25.602—80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М.: Изд-во стандартов, 1981. 13 с.

⁵ ГОСТ 33344—2015. Профили пултрузионные конструкционные из полимерных композитов. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2016. 34 с.

⁶ ГОСТ 4647—2015. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи. М.: Изд-во стандартов, 2017. 25 с.

⁷ ГОСТ 9550—81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе. М.: Изд-во стандартов, 1982. 8 с.

$$\text{образец 4} \text{ — } \sigma_p = \frac{70000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 70 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 5} \text{ — } \sigma_p = \frac{73000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 73 \text{ МПа};$$

среднее значение для всех образцов:

$$\sigma_p = \frac{76 + 73 + 68 + 70 + 73}{5} = 72 \text{ МПа}.$$

Сводная ведомость результатов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на сжатие

№ образца	Сжатие в направлении 0°, МПа	Сжатие в направлении 90°, МПа
1	148	76
2	153	73
3	156	68
4	149	70
5	157	73
Среднее значение	152,6	72

Таким образом, прочность материала на сжатие соответствует нормам.

Испытания на изгиб [7, 8]

По ГОСТ 33344—2015 композиционные материалы подверглись испытаниям на изгиб. Сущность метода заключается в том, что образец, представляющий собой однонаправленно-армированный тонкостенный пултрузионный профиль полного сечения, свободно лежащий на двух опорах, нагружают в середине между опорами до достижения заданного значения прогиба (рис. 7).

Предел прочности при поперечном изгибе:

$$\text{образец 1} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 283 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 106,125 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 2} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 276 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 103,5 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 3} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 264 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 99 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 4} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 268 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 100,5 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 5} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 260 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 97,5 \text{ МПа};$$

среднее значение предела прочности при изгибе для пяти образцов:



Рис. 7. Испытания элемента на поперечный изгиб

$$\sigma_{\text{В ср}}^{\text{И}} = \frac{106,125 + 103,5 + 99 + 100,5 + 97,5}{5} = 101,325 \text{ МПа.}$$

Сводная ведомость результатов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на изгиб

№ образца	Предел прочности при изгибе, МПа
1	106,125
2	103,5
3	99
4	100,5
5	97,5
Среднее значение	101,325

Таким образом, прочность материала при изгибе соответствует нормам.

Испытания на ударную вязкость [7, 9, 10]

Испытания проводили по ГОСТ 25.602—80, ГОСТ 33344—2015 и ГОСТ 4647—2015. Сущность метода заключается в том, что образец, лежащий на двух опорах, подвергается удару маятника с постоянной скоростью (при ударе «плашмя» или «в ребро»). Причем линия удара находится посередине между опорами и непосредственно напротив надреза у образцов с надрезом. Удар наносится по поверхности образца, противоположной надрезу.

Для испытания используют маятниковые копры по ГОСТ 10708—82⁸, обеспечивающие измерение энергии удара, затраченной на разрушение образца и определяемой как разность между первоначальным запасом потенциальной энергии маятника и энергией, оставшейся у маятника после разрушения испытуемого образца [11, 12].

Всего было испытано 10 образцов длиной 80 мм, шириной 10 мм, толщиной 4 мм, при расстоянии между опорами 60 мм.

$$\text{образец 1 — } a = \frac{143}{2000} \cdot 10^3 = 71,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 2 — } a = \frac{152}{2000} \cdot 10^3 = 76 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 3 — } a = \frac{137}{2000} \cdot 10^3 = 68,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 4 — } a = \frac{154}{2000} \cdot 10^3 = 77 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 5 — } a = \frac{137}{2000} \cdot 10^3 = 68,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 6 — } a = \frac{166}{2000} \cdot 10^3 = 83 \text{ кДж/м}^2;$$

⁸ ГОСТ 10708—82. Копры маятниковые. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1999. 8 с.

$$\text{образец 7 — } a = \frac{146}{2000} \cdot 10^3 = 73 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 8 — } a = \frac{146}{2000} \cdot 10^3 = 73 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 9 — } a = \frac{159}{2000} \cdot 10^3 = 79,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 10 — } a = \frac{139}{2000} \cdot 10^3 = 69,5 \text{ кДж/м}^2;$$

среднее значение

$$a = \frac{71,5 + 76 + 68,5 + 77 + 68,5 + 83 + 73 + 73 + 79,5 + 69,5}{10} = 73,95 \text{ кДж/м}^2.$$

Сводная ведомость результатов приведена в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость

№ образца	Ударная вязкость, кДж/м ²
1	71,5
2	76
3	68,5
4	77
5	68,5
6	83
7	73
8	73
9	79,5
10	69,5
Среднее значение	73,95

Таким образом, ударная вязкость материала соответствует установленным значениям.

Исследование показало, что полимерные композитные материалы являются хорошей заменой классическим материалам в транспортном строительстве по ряду свойств: долговечности, прочности, сопротивлению коррозии, хорошему внешнему виду, относительной дешевизне использования и превосходят аналоги, выполненные из металла и железобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русско-английский терминологический словарь инженера-дорожника = Russian-english dictionary of road-building terms : ок. 3000 терминов / под ред. В. П. Подольского. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1999. 323 с.
2. Вольнов О. И., Дудукин Д. О. Стеклопластик. История развития, технология производства, формообразование деталей и современное применение // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. 2014. № 5(107). 2014. С. 400—404.
3. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Мандрик-Котов Б. Б., Михалдыкин Е. С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве // «Наукоедение». 2016. Т. 8. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf>.

4. Савкин Д. А. Перильные ограждения из композитных материалов — эффективные решения // Дорожник. 2015. № 3. С. 54—55.
5. Каблов Е. Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36—39.
6. Антюфеева Н. В., Алексахин В. М., Столянков Ю. В. Современное методическое обеспечение термоаналитических исследований полимерных композитов и препрегов // Композиты и наноструктуры. 2014. Т. 6. № 3. С. 176—184.
7. Дубинчик Е. В., Пастушков В. Г., Янковский Л. В. Особенности применения композитных материалов в строительстве // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 175—181.
8. Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И. Влияние жесткости основания на напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 97—105.
9. Макаров А. В., Калиновский С. А., Ерещенко Т. В., Павлова М. А. Вопросы экономического восстановления эксплуатационных свойств мостов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 96—104.
10. 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. Vol. 4. No. 21. Pp. 52—60.
11. The Influence of Plasticizer on the Composition of Cement Stone Hydration Products / 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. 2016. Vol. 93. Pp. 186—191.
12. 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. DOI: 10.1051/e3sconf/201913501018.

© Бондарев Б. А., Акчурин Т. К., Душко О. В., Стурова В. А., Жидков В. К., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка износа элементов перильных ограждений и пути повышения их долговечности / Б. А. Бондарев, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, В. А. Стурова, В. К. Жидкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 18—27.

Об авторах:

Бондарев Борис Александрович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и конструкций, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; LNSP-48@mail.ru

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

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, первый проректор, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

Стурова Виктория Андреевна — ассистент каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; v-livenceva@mail.ru

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

**Boris A. Bondarev^a, Talgat K. Akchurin^b, Oleg V. Dushko^b, Victoria A. Sturova^a,
Vladimir K. Zhidkov^a**

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

EVALUATION OF THE WEAR OF THE ELEMENTS OF THE RAILINGS AND WAYS TO INCREASE THEIR DURABILITY

The paper describes defects and wear of railings, lists the types of damage, prevalence (length of damaged railing sections) and determines the maximum wear value. Graphic images of railings of stability loss, intensive destruction of concrete with exposure of reinforcement, continuous corrosion of the metal surface of structural elements, as well as destruction of the fastening of elements to the bridge structure and loss of verticality and stability are given. An alternative to traditional materials has been proposed and tested.

Key words: wear, stability, corrosion, railings.

For citation:

Bondarev B. A., Akchurin T. K., Dushko O. V., Sturova V. A., Zhidkov V. K. [Evaluation of the wear of the elements of the railings and ways to increase their durability]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 18—27.

About authors:

Boris A. Bondarev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; LNSP-48@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

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

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

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

УДК 574.5-627.5

Т. А. Иваненко, Н. М. Ветрова, А. А. Гайсарова

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ЭКОЛОГО-ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВООПОЛЗНЕВОЙ ЗАЩИТЫ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН КРЫМА

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-20193.
URL: <https://rscf.ru/project/22-28-20193>**

Приведены результаты изучения эколого-геологических условий прибрежных территорий при проектировании инженерных решений по комплексной инженерно-экологической защите от негативных геологических процессов на примере побережья Крыма. Применен комплексный подход к оценке экологических и экономических параметров риска развития процессов на отдельных территориях Западного Крыма. Работа посвящена исследованию оползней в условиях их формирования, что должно учитываться при разработке мероприятий противооползневой защиты определенной территории. Цель данной работы — обоснование вариантов реконструкции противооползневых сооружений на примере оползня Учкучевский.

Ключевые слова: оползень, движущиеся массы, оползневой риск, эколого-инженерные решения.

Введение

Широкомасштабная застройка прибрежных территорий для рекреационного развития и связанные с ней процессы стихийного градостроительного освоения без учета рисков развития и активизации опасных природных процессов привели к снижению качества компонентов окружающей среды, используемых в рекреационных целях, — сужению пляжной полосы, ограничению использования морской части прибрежной зоны. Осложняет ситуацию разрушение либо полное отсутствие защитных инженерных сооружений, что приводит к более активному развитию и дестабилизации экзогенных геологических процессов.

Оползни — один из масштабно развитых в мире экзогенных геологических процессов. Оползни как смещения значительных геологических масс формируют опасности для техногенных объектов различного назначения: зданий, сооружений, инженерных сетей и др. Результатом действия оползней являются потери и ущербы, требующие значительных экономических затрат на их ликвидацию.

Следует отметить, что, несмотря на теоретическую изученность и опыт прогнозирования возможных оползневых процессов, масштабы распространения, натурные формы и размеры оползней, особенности характера перемещения масс, в т. ч. факторы их активизации, являются недостаточно изученными, поэтому выявление риска возникновения и смещения оползня является актуальным.

Объект исследования — оползневая структура Нахимовского района Севастопольского городского совета (упраздненное селение Учкучевка). Предмет исследования — эколого-инженерные решения противооползневой защиты на примере оползня Учкучевский.

Анализ публикаций

Крымский полуостров — это активная геодинамическая зона, 35 % территорий которой признано оползнеопасными. Начиная с конца 1950-х гг. систематические комплексные исследования оползневых массивов проводили А. И. Шеко, И. Г. Глухов, В. Н. Славянов [1—3]. Работы включали анализ механизмов движения, непосредственно строения, планового и высотного расположения, факторов оползнеобразования. Была выполнена генетическая классификация оползней Крымского полуострова (М. В. Чуринов, И. М. Цыпина). И. Б. Корженевский систематизировал факторы активизации оползней по результатам оценки оползней полуострова и обосновал определяющую роль абразионно-эрозионных процессов в образовании оползней.

В 1970—1980-е гг. в рамках проектирования и строительства рекреационных объектов на территории Крымского полуострова специалисты проектных и научных учреждений («Фундаментпроект», «Союздорпроект», «УкрГИИН-ТИЗ», «Укрюжгипрокоммунстрой») уточнили перечень и роль различных факторов в формировании оползней, их строение и гидрогеологические особенности, механизм оползневых процессов, влияние техногенных факторов на их развитие (М. К. Рзаева и др., А. Н. Лужецкий, И. Ф. Ерыш [1—4]). Результатами полевых и аналитических исследований подтверждено мнение о главенствующей роли в оползнеобразовании на территории Крымского полуострова активных абразионных и эрозионных процессов, накопительный эффект от которых приводит к необратимому снижению устойчивости склонов.

На основании этих исследований приняты дальнейшие проектные и строительные инженерные решения противоабразионных и противооползневых сооружений. Удерживающие свайные сооружения, железобетонные сооружения, подпорные стены, планировки массивов грунта, дренажей и отвода поверхностного стока нашли свою реализацию на территории Крымского полуострова и приведены в [1—4].

В настоящее время активное рекреационное освоение Крыма вызывает необходимость проведения комплексных исследований и разработки эколого-инженерных решений, предупреждения и стабилизации оползневых процессов на приморских территориях Крымского полуострова.

Многие вопросы, связанные с выявлением состояния и подходов к реконструкции противооползневых сооружений с учетом экологического состояния рекреационной зоны, требуют уточнения и конкретизации, что определяет актуальность данного исследования.

Целью данной работы является обоснование целесообразности инженерно-экологических решений при реконструкции противооползневых сооружений Западного Крыма (на примере оползня Учкеевский).

Задачи исследования:

- изучить условия формирования оползней Крыма в исторической ретроспективе, их классификацию;
- рассмотреть существующие методы исследования оползней и расчетные методики оценки оползневых рисков;
- охарактеризовать современное состояние противооползневых сооружений Западного Крыма (на примере оползня Учкеевский);
- обосновать необходимость инженерно-экологических решений по их реконструкции.

Результаты исследования

Известно, что оползень — это природное явление, экзогенный геологический процесс, при котором массы горных пород и грунта смещаются по склону под тяжестью собственного веса [5]. Подобные процессы происходят в горах, на склонах различной крутизны и ориентации, на берегах водных объектов, а также и на относительно равнинных территориях [6, с. 184]. Развитие оползневого процесса происходит в 3 этапа:

- снижается устойчивость грунтового массива;
- грунтовой массив дестабилизируется и под влиянием силы тяжести начинает свое движение. Второй этап заканчивается тогда, когда оползневые массы частично стабилизируются;
- оползень восстанавливает свою устойчивость — процесс стабилизируется, массы восстанавливают устойчивость (рис. 1).

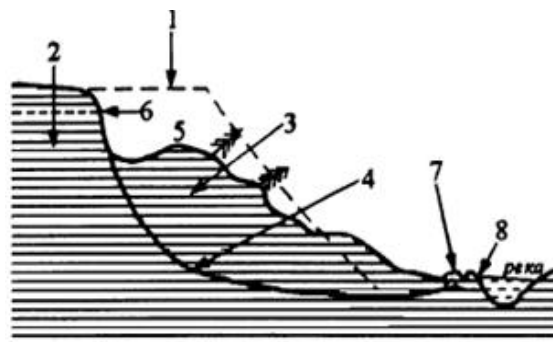


Рис. 1. Схема поперечного профиля оползня [7]: 1 — первоначальное положение склона; 2 — ненарушенные слои; 3 — оползневой массив (оползень); 4 — поверхность скольжения; 5 — площадка оползневой террасы; 6 — стенка срыва оползневой массы; 7 — напорный оползневой вал; 8 — урез воды водного объекта (например, реки)

Оползни в естественных природных условиях развиваются в геологической среде и являются результатом проявления экзогенного геологического процесса. Активная стихийная застройка и внедрение инженерных объектов приводят к смещению баланса природных и антропогенных факторов активизации, формирования и развития оползней в сторону антропогенных. Причиной становится комплекс разнообразных геологических процессов, который создает благоприятные условия для нарушения естественного равновесия склона или массива. Техногенное воздействие различной формы и масштаба провоцирует активизацию оползневых подвижек.

К природным факторам возникновения оползневого процесса относят геолого-геоморфологические условия территорий, к антропогенным — хозяйственную деятельность человека. Они должны быть проанализированы и учтены при обосновании целесообразности противооползневых систем с оценкой степени оползневого риска смещения грунтового массива и уровня оползневой безопасности сооружений от возможных проявлений оползневых процессов [2, 7—10].

Разработаны и действуют нормативные документы [11], определение расчетных характеристик устойчивости оползня выполняется в соответствии с разделом 7 [11].

Условие оползневой безопасности сооружений $S_{\text{оп}}$ рассчитывается по формуле [10, 12—16]:

$$S_{\text{оп}} = 1 - R_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{оп}}$ — степень оползневой опасности ($R_{\text{оп}} \in [0;1]$).

Из формулы (1) следует, что оценка уровня оползневой безопасности сводится к задаче определения степени оползневой опасности для зданий и сооружений.

С использованием приведенного методического подхода выполнена оценка оползнеопасности по выбранному участку приморской зоны абразионных участков западного побережья в Севастопольском районе, в пределах которого преобладает проявление оползневых процессов. Карта-схема оползня Учкучевский показана на рис. 2.



Рис. 2. Карта-схема оползня Учкучевский. Красным контуром выделено тело оползня

По данным натурных изысканий в течение 4 лет (с 2008 по 2012 гг.) рассматриваемый оползень был отнесен к процессам 5-й категории опасности, по геоморфологической принадлежности — к абразионным (рис. 3). Повторяемость таких оползней в ненарушенных природных условиях составляет около одного раза за год.



Рис. 3. Оползень Учкучевский (фото авторов)

Оценка вероятности возникновения оползневого процесса чаще всего производится специалистами оползневых станций по данным многолетних наблюдений, поскольку имеет достаточно сложный алгоритм. Авторами учитывались имеющиеся данные и результаты проведенных наблюдений.

Схема для определения скорости смещения оползня представлена на рис. 4.

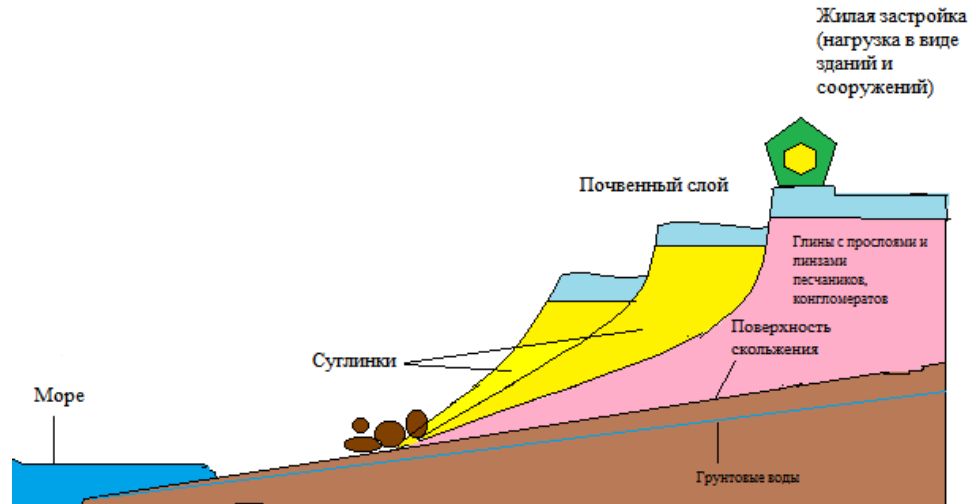


Рис. 4. Схема формирования смещения оползневой массы

На первом этапе прогноза возникновения нового оползня на естественном склоне в заданном районе определяем вероятность по времени возникновения по соотношению [10, 12—18]

$$K_{cp}^k = K_{cp}^n - T \Delta K_{cp}. \quad (2)$$

Для выбранного оползнеопасного участка согласно разработке [12] примем следующие коэффициенты: начальное значение коэффициента устойчивости склона $K_{cp}^n = 0,9$; среднее годовое уменьшение коэффициента устойчивости вследствие равномерного подмыва подошвы склона $\Delta K_{cp} = 0,016$; среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости в результате колебаний водонасыщенности склона составляет $A_{cp} = 0,0869$; максимальное отрицательное отклонение коэффициента устойчивости за 50 лет $A_{max} = 0,11$ [12, с. 211]. Тогда вероятность по времени возникновения —

$$\text{от } \frac{0,9 - 0,11 - 1}{0,016} \text{ до } \frac{0,9 - 0,0869 - 1}{0,016}.$$

Таким образом, оползень произойдет в интервале через 10...12 лет.

На втором этапе осуществляем анализ возможности оползня по коэффициенту устойчивости. Конечная средняя годовая величина коэффициента устойчивости склона в конце прогнозируемого периода определяется по формуле

$$K_{\text{ср}}^{\text{к}} = K_{\text{ср}}^{\text{н}} - T\Delta K_{\text{ср}}. \quad (3)$$

Для анализируемого оползня коэффициента устойчивости склона составит

$$K_{\text{ср}}^{\text{к}} = 0,9 - 50 \cdot 0,016 = 0,1.$$

Выводы об устойчивости или неустойчивости склона делаем на основании выполнения следующих условий [10, 13, 14, 16—18]:

если $K_{\text{ср}}^{\text{к}} - A_{\text{max}} > 1$, оползень маловероятен,

$K_{\text{ср}}^{\text{к}} - A_{\text{max}} < 1$, оползень возможен,

$K_{\text{ср}}^{\text{к}} - A_{\text{ср}} < 1$, вероятность оползня очень велика.

По результатам расчетов имеем

$$K_{\text{ср}}^{\text{к}} - A_{\text{ср}} = 0,1 - 0,0869 < 1,$$

и, следовательно, оползень Учкеевский активен, на участках оползня нужно провести проектирование инженерной защиты.

При выборе мероприятий и сооружений следует учитывать виды возможных деформаций склона (откоса), степень ответственности защищаемых сооружений, их конструктивные и эксплуатационные особенности.

Выводы и рекомендации

Для снижения вероятности обрушения оползня Учкеевский предлагается проведение следующих мероприятий инженерной защиты территорий:

организация поверхностного отвода вод и централизованной канализации дачных участков за счет строительства закрытого дренажа;

перераспределение грунтовых масс на оползневом склоне — уполаживание склона срезкой грунта в активной части оползня и пригрузка в его пассивной части;

берегоукрепительные сооружения в виде проницаемых откосных стен с волногасящей камерой;

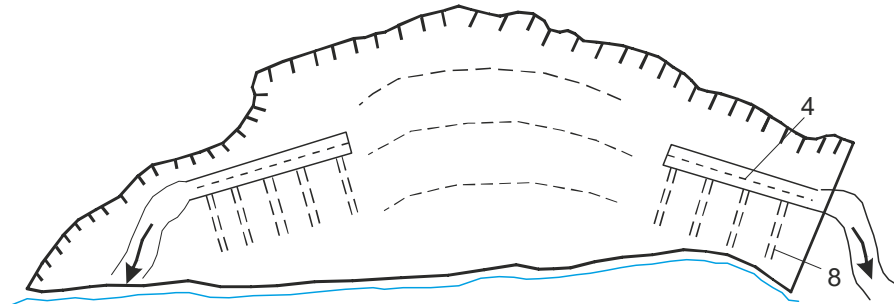
волноотбойные сооружения (волногасящие буны) для борьбы с волноприбойным действием.

На части территории пляжа «Толстяк» расположены 3 волногасящие буны. Для удержания пляжа от размывания и подвижек оползня предлагается продлить количество бун до 6 в сторону активного оползня.

Для исследуемого оползневого участка предлагается использовать агролесомелиоративные мероприятия в сочетании с противооползневыми сооружениями. Аналогично патентной разработке К. Ш. Шадунц [19] противооползневое сооружение должно включать ряды свай в виде шпунтин. Свая имеет дренажную систему, состоящую из слоя пористого бетона и горизонтального паза, расположенных между верхней и нижней слоями плотного бетона шпунтины, при этом боковая поверхность шпунтины со стороны нижней части склона выполнена сплошной из плотного бетона, подперта наклонными сваями, объединенными сверху с шпунтинами ростверком.

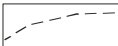
На рисунке 5 выполнен план расположения противооползневого сооружения в пределах оползня Учкеевский.

План расположения
противооползневого сооружения
на оползне "Учкуевский"



Условные обозначения:

- 1 - шпунтина;
- 2 - дренажная система в виде пористого бетона;
- 3 - горизонтальный паз;
- 4 - сквозной сбрасывающий канал;
- 5, 6 - верхняя и нижняя части шпунтин из плотного бетона;
- 7 - стенка шпунтины со стороны низовой части из плотного бетона;
- 8 - подпорки из наклонных свай

 - агролесомелиоративные мероприятия
(розмарин, тамариск, лох серебристый)

Общий вид шпунтины (1) сверху и сбоку

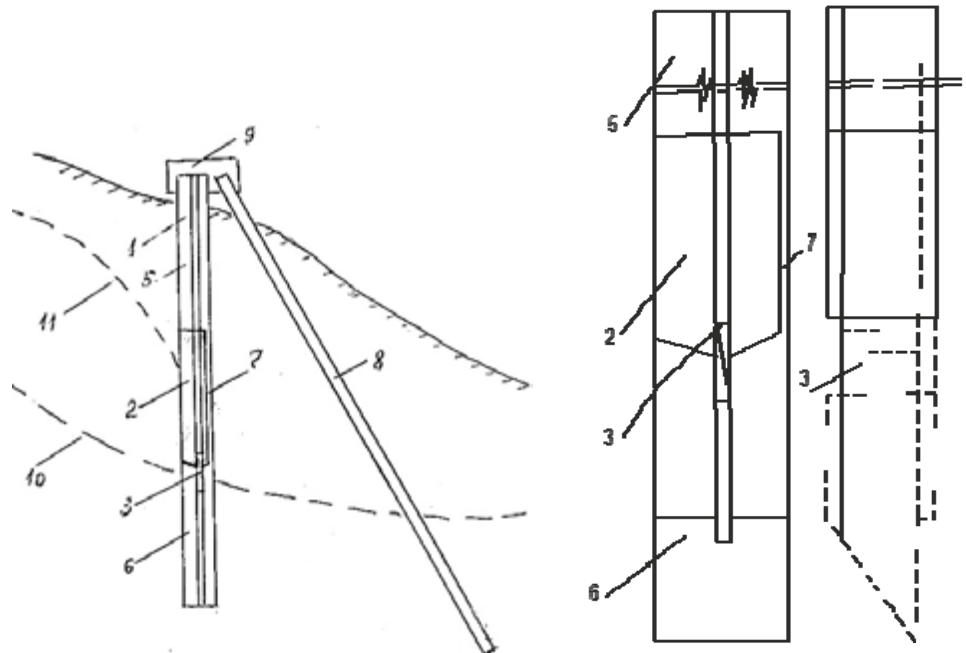


Рис. 5. Схема размещения противооползневого сооружения в пределах оползня Учкуевский

Противооползневое сооружение возводится следующим образом: на основании инженерно-геологических предпроектных изысканий определяется местоположение противооползневого сооружения. Шпунтовый ряд погружают, начиная с крайних (ближних к борту оползня) частей, заглубляя в устойчивые слои грунта ниже поверхности смещения 10.

Шпунт 1 погружают так, чтобы дренажная система была обращена к верховой части склона и перед ней возникала бы кривая депрессии 11, вода отводится по сквозному сбрасываемому каналу 4. С низовой стороны склона дренирующая система отделена от грунта стенкой 7, выполненной из плотного бетона. Затем производят погружение наклонных свай 8 на расчетном расстоянии друг от друга и объединяют их ростверком 9 с шпунтом 1.

В заключение отметим важность разработки методик проверки уровня оползнеобразования, учитывающих особенности строения и формирования нагрузок для совершенствования проектных решений строительства в ряде регионов страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ерши И. Ф., Рудько Г. И.* Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых оползней Украины (Крым, Карпаты). Киев : Радуга, 2006. 624 с.
2. *Рзаева М. К., Тихвинский И. О., Самохвалова М. П., Кригер Н. И.* Инженерно-геологический анализ применения противооползневых мероприятий на Черноморском побережье Крыма и Кавказа. М. : Стройиздат, 1976. 232 с.
3. *Лужецкий А. Н., Ерши И. Ф., Коджаспиров А. А., Науменко П. Н.* Оползни черноморского побережья Украины М. : Недра, 1977. 103 с.
4. *Ерши И. Ф.* Механизм типичных оползней Крыма и вопросы стационарного их изучения: автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук: М. : МГУ, 1980. 20 с.
5. *Алексеев И. А.* Геоморфология: учебное пособие. Благовещенск : Изд-во БГПУ, 2008. 180 с.
6. *Макарова Н. В., Суханова Т. В.* Геоморфология: учебное пособие. М. : КДУ, 2019. 414 с.
7. *Аллисон А., Палмер Д.* Геология. М. : Мир, 1984. 568 с.
8. *Леонтьев О. К., Рычагов Г. И.* Общая геоморфология. М. : Высшая школа, 2006. 415 с.
9. О дисперсном составе пыли в системах аспирации и пневмоуборки / В. Н. Азаров, А. Н. Богомолов, Н. М. Сергина, Н. А. Маринин, Н. И. Чижов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25(44). С. 218—223.
10. *Lima P., Steger S., Glade T., Mergili M.* Conventional data-driven landslide susceptibility models may only tell us half of the story: Potential underestimation of landslide impact areas depending on the modeling design. // *Geomorphology*. 2023. Vol. 430. 108638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108638>.
11. ОДМ 218.2.006—2010. Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог. URL: <https://library-full.nadzor-info.ru/doc/49231>.
12. *Безуголова Е. В.* Оценка и управление оползневым риском транспортных природно-технических систем черноморского побережья Кавказа: дис... на соискание ученой степени д-ра. геол.-минерал. наук. Краснодар, 2014. 277 с.
13. *Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M.* Slope Stability and Stabilization Methods. New York : John Wiley & Sons, 2002. 736 p.
14. *Walker B., Davies W., Wilson G.* Practice note guidelines for landslide risk management. *Australian Geomechanics*. 2007. Vol. 42. No. 1. Pp. 63—114.
15. *Husein Malkawi A. I., Hassan W. F., Abdulla F. A.* Uncertainty and reliability analysis applied to slope stability // *Structural Safety*. 2000. No. 22. Pp. 161—187.
16. *Alves P. J., Carvalho R., Emanuel L.* Natural disasters and establishment performance: evidence from the 2011 Rio de Janeiro landslides // *Reg. Sci. Urban Econ*. 2021. Vol. 95.

URL: https://www.researchgate.net/publication/357318534_Natural_disasters_and_establishment_performance_Evidence_from_the_2011_Rio_de_Janeiro_Landslides.

17. *Азаров В. Н., Кошкарёв С. А.* Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2016. Вып. 43(62). С. 161—174.

18. *Азаров В. Н., Калюжина Е. А.* Об организации мониторинга PM10 и PM2,5 на примере г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25(44). С. 398—401.

19. *Шадуң К. Ш.* Противооползневое сооружение: патент на изобретение RU 2380485 С1. Краснодар : КГАУ, 2008.

© *Иваненко Т. А., Ветрова Н. М., Гайсарова А. А., 2023*

*Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Иваненко Т. А., Ветрова Н. М., Гайсарова А. А. О целесообразности разработки эколого-инженерных решений противооползневой защиты прибрежных зон Крыма // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 28—37.

Об авторах:

Иваненко Татьяна Александровна — канд. экон. наук, доц. каф. природообустройства и водопользования, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского. Российская Федерация, 295007, г. Симферополь, пр-т Вернадского, 4; ORCID: 0000-0002-4152-7568

Ветрова Наталья Моисеевна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. природообустройства и водопользования, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского. Российская Федерация, 295007, г. Симферополь, пр-т Вернадского, 4; ORCID: 0000-0002-7012-2359

Гайсарова Анастасия Андреевна — канд. экон. наук, доц., доц. каф. экономики предприятий, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского. Российская Федерация, 295007, г. Симферополь, пр-т Вернадского, 4; ORCID: 0000-0003-4270-7840; vip.gaysarova@mail.ru

Tatyana A. Ivanenko, Natalya M. Vetrova, Anastasia A. Gaysarova

Vernadsky Crimean Federal University

ON THE FEASIBILITY OF DEVELOPMENT ECOLOGICAL AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR LANDSLIDE PROTECTION OF COASTAL ZONES OF CRIMEA

***The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation
No. 22-28-20193. URL: <https://rscf.ru/project/22-28-20193>***

The results of studying the ecological and geological conditions of coastal territories in the design of engineering solutions for integrated engineering and environmental protection from negative geological processes on the example of the Crimean coast are presented. A complex approach has been applied to the assessment of environmental and economic risk parameters for the development of processes in certain territories of the Western Crimea. The work is devoted to the study of landslides in the conditions of their formation, which should be taken into account when developing measures for landslide protection of a certain territory. The purpose of this work is to substantiate options for the reconstruction of landslide structures on the example of the Uchkuevsky landslide.

Key words: landslide, moving masses, landslide risk, environmental engineering solutions.

For citation:

Ivanenko T. A., Vetrova N. M., Gaysarova A. A. [On the feasibility of development ecological and engineering solutions for landslide protection of coastal zones of Crimea]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvenno-*

go arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 28—37.

About authors:

Tatyana A. Ivanenko — Candidate of Economics, Vernadsky Crimean Federal University. 4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Republic of Crimea, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4152-7568

Natalya M. Vetrova — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vernadsky Crimean Federal University. 4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Republic of Crimea, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7012-2359

Anastasia A. Gaysarova — Candidate of Economics, Docent, Vernadsky Crimean Federal University. 4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Republic of Crimea, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4270-7840

УДК 699.86

С. В. Корниенко, Е. М. Брехов

Волгоградский государственный технический университет

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛА ПО ГРУНТУ В ЗЕЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Рассмотрены теплотехнические особенности пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях. Влияние конфигурации пола по грунту на теплопотери заметно в том случае, если теплоизоляция плиты пола отсутствует. Повышение компактности первого этажа является пассивным средством регулирования тепловых потерь через грунт. Умеренная теплоизоляция краевой зоны пола снижает удельные теплопотери до 22,8 %. Применение повышенной теплоизоляции краевой зоны пола позволяет сократить теплопотери пола до 38 %. Такое решение способствует выравниванию температурного поля по внутренней поверхности конструкции и может обеспечить комфортные условия в помещении. Максимальное снижение теплопотерь имеет место при повышенной теплоизоляции плиты пола (около 73 %). Такой способ обеспечивает максимальный теплоизолирующий эффект и отвечает требованиям зеленого жилищного строительства в умеренном климате России.

Ключевые слова: зеленое жилищное строительство, зеленая архитектура, ограждающая конструкция, пол по грунту, теплоизоляция, компактность, теплопередача через грунт, тепловой комфорт, энергосбережение, энергоэффективность.

Введение

Одним из ключевых направлений устойчивого развития государства является жилищное зеленое строительство. Зеленые технологии — мегатренд современной архитектуры [1—5]. Зеленое здание отвечает требованиям комфортного проживания. Оно энергоэффективно и имеет высокий уровень ресурсосбережения [6, 7]. Зеленое здание экологически безопасно, в нем реализован комплекс мер по декарбонизации, т. е. сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Потребность в строительстве зеленых зданий чрезвычайно высока и определяется, главным образом, необходимостью сохранения природной среды для будущих поколений.

Опираясь на инновационные энергоэффективные биопозитивные решения, зеленая архитектура и строительство динамично развиваются [8, 9].

Характерной особенностью зеленых многоквартирных жилых зданий является размещение на первом этаже квартир с отдельными входами (рис. 1). Такое архитектурное решение имеет ряд преимуществ.

Во-первых, за счет совпадения уровней пола и территории создается безбарьерная среда, в которой маломобильные группы населения могут свободно попадать в квартиры без посторонней помощи.

Во-вторых, у внешнего контура здания могут быть организованы мини-общественные коллективные пространства с помощью зеленых помещений, палисадников, газонов. Указанные пространства являются активными элементами зеленой архитектуры и могут быть легко адаптированы к нуждам жильцов [10].

В-третьих, отсутствие заглубленных в грунт подвалов уменьшает антропогенное воздействие на земную поверхность.

В-четвертых, повышается уровень комфорта среды. В летний период деревья с плотной кроной защищают жилые помещения от прямых солнечных лучей, смягчая тепловой режим и снижая потребность в кондиционировании воздуха. Этому способствует и применение современных теплонасосных систем теплоснабжения зданий [11]. Строительство зеленых зданий смягчает эффект городского теплового острова, повышая теплотехническое качество мегаполиса [12].



Рис. 1. Квартиры с отдельными входами в многоквартирном доме

Учитывая высокую актуальность жилищного зеленого строительства, термин «зеленое многоквартирное жилое здание» официально закреплен в новой редакции российских норм проектирования СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные» (п. 3.1.11)¹, а в определении термина «этаж жилого многоквартирного здания» в том же документе (п. 3.1.41) предусмотрена возможность устройства пола по грунту в жилых помещениях.

Каковы теплотехнические особенности пола по грунту?

Человек проводит в жилых помещениях большую часть суток, при этом его стопы постоянно контактируют с полом. В результате контактного теплообмена человека с полом происходят тепловые потери. Если теплотери человека превышают его теплопродукцию вследствие метаболических процессов, нарушается тепловой баланс, увеличивается риск простудных заболеваний. Теплоотдача человека зависит от температуры пола, его теплотехнических характеристик, продолжительности контакта стоп с полом и т. д.

Процесс теплопередачи через пол по грунту подчиняется сложным закономерностям. Температурное поле грунта трехмерно. Если вдали от внешнего контура здания температура на поверхности пола почти такая же, как и внутреннего воздуха, то по мере приближения к наружным стенам температура пола снижается, причем существенно затрудняется прогноз температурного режима на краевых участках. Снижение температуры в этих зонах пола увеличивает тепловые потери. Циклические колебания температуры наружного воздуха и теплового потока приводят к формированию сложного

¹ СП 54.13330.2022. Здания жилые многоквартирные. М. : РСТ, 2022. 49 с.

нестационарного теплового режима грунта. При высоком уровне грунтовых вод грунт, соприкасающийся с полом, дополнительно увлажняется, что ведет к дополнительным потерям теплоты через пол по грунту. Поэтому уже на стадии проектирования необходимо правильно определять теплотехнические характеристики пола по грунту [13].

Теплотехнические характеристики пола по грунту различной конфигурации при разных способах теплоизоляции плиты пола даже в статическом приближении, т. е. при некоторых усредненных климатических параметрах, исследованы недостаточно полно. Это затрудняет поиск эффективных конструктивных решений пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях.

Целью данного исследования является анализ тепловых потерь пола по грунту при различных конфигурациях и способах теплоизоляции пола.

Методы

Существуют различные методы расчета теплопередачи через грунт. В классическом зональном методе расчета пол по грунту условно разбивается на термически однородные зоны. Каждая зона имеет индивидуально установленное значение сопротивления теплопередаче. Сопротивление теплопередаче 1-й зоны, примыкающей к наружной стене, минимальное, что объясняется добавочным тепловым потоком через краевую зону плиты пола. По мере удаления от наружного контура здания сопротивление теплопередаче возрастает. Зная площади термически однородных зон и их теплотехнические характеристики, можно, используя закон сложения тепловых проводимостей, определить теплопотери пола по грунту. При необходимости может быть учтено влияние теплоизоляции плиты пола [14]. Зональный метод расчета является ориентировочным, позволяющим просто оценить теплозащитные свойства пола по грунту. Однако этот метод не учитывает теплофизические свойства грунта, что затрудняет его применение в различных климатических зонах.

Более точным является метод расчета коэффициентов теплопередачи и расходов теплоты через грунт. Этот метод отражен в национальном стандарте РФ ГОСТ Р ИСО 1 3370—2016 «Тепловые характеристики здания. Метод расчета теплопередачи через грунт»². В отличие от зонального, данный метод позволяет учесть различные факторы: трехмерную природу теплового потока в грунте под зданием, теплопроводность и объемную теплоемкость грунта, теплопроводные включения по краю перекрытия, влияние грунтовых вод, нестационарный характер теплопередачи, связанный с изменением температур внутреннего и наружного воздуха. Также может быть учтено влияние на тепловой режим помещений встроенной в плиту пола системы панельного лучистого отопления или охлаждения.

Наиболее точным является метод динамического моделирования процессов теплопереноса в ограждающих конструкциях [15]. Он позволяет вычислить трехмерные температурные поля при нестационарном тепловом режиме для неоднородных участков ограждающих конструкций разнообразной формы [16]. При этом конструкция плиты пола вместе с грунтовым основанием моделируется как единый компонент, что позволяет оценить влияние на

² ГОСТ Р ИСО 1 3370—2016. Тепловые характеристики зданий. Метод расчета теплопередачи через грунт. М. : Стандартинформ, 2017. 40 с.

теплопередачу различных видов грунта. Особую ценность приобретает возможность применения метода динамического моделирования к расчету теплопереноса в краевых зонах, — точнее могут быть заданы граничные условия теплообмена. Вместе с тем динамическое моделирование требует применения сложных компьютерных программ, основанных на методах конечных разностей или конечных элементов, поэтому этот метод не всегда доступен при проведении научно-исследовательских изысканий [17].

Метод ГОСТ Р ИСО 1 3370—2016 дает возможность получения достаточно точных результатов без использования дорогостоящих компьютерных программ, поэтому он выбран нами для оценки теплотерь пола по грунту в данном исследовании.

Результаты и обсуждение

Расчеты теплотерь пола по грунту выполним для условной квартиры, расположенной на 1-м этаже многоквартирного жилого дома.

Рассмотрим различные конфигурации пола по грунту в плане (рис. 2): максимально компактная (круг), компактная (квадрат) и минимально компактная (*L*-образная форма).

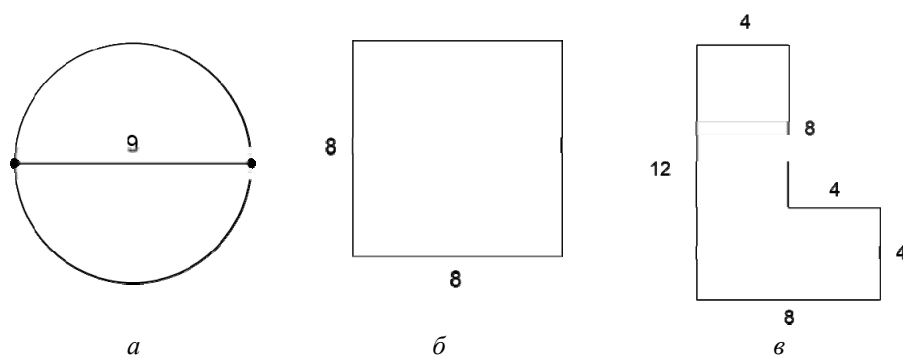


Рис. 2. Схемы пола по грунту различной конфигурации в плане: *a* — круг; *б* — квадрат; *в* — *L*-образная форма, линейные размеры даны в м

Исходя из заданных размеров (см. рис. 2) вычислим периметр пола: круглой формы — 28,3 м; квадратной формы — 32 м; *L*-образной формы — 40 м. Площадь пола для всех конфигураций одинакова и составляет 64 м². Неизменяемость площади пола удобна для анализа удельных тепловых потерь на основе коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций.

Согласно конструктивным требованиям, плита пола толщиной 0,3 м выполнена из монолитного железобетона плотностью 2500 кг/м³ в сухом состоянии. Толщина стены 0,5 м. Расчетная теплопроводность железобетонной плиты 1,92 Вт/(м·К), теплопроводность грунта 2 Вт/(м·К). Сопротивление теплообмену внутренней поверхности плиты 0,16 м²·К/Вт и учитывает конвективный и лучистый теплообмен в помещении. Сопротивление теплообмену наружной поверхности плиты принято равным 0, т. к. плита непосредственно контактирует с грунтом. Влияние грунтовых вод на здание не учитывается.

По базовому варианту теплоизоляция плиты пола отсутствует (рис. 3).

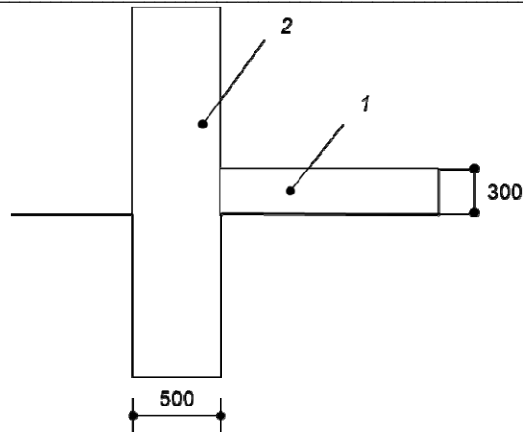


Рис. 3. Схема базового узла без теплоизоляции: 1 — плита пола; 2 — стена фундамента

Рассмотрим 2 принципиальных способа теплоизоляции пола по грунту: изоляция только краевой зоны плиты пола (рис. 4, а) и — всей плиты пола (рис. 4, б). Указанные способы широко применяют в современной практике тепловой защиты зданий.

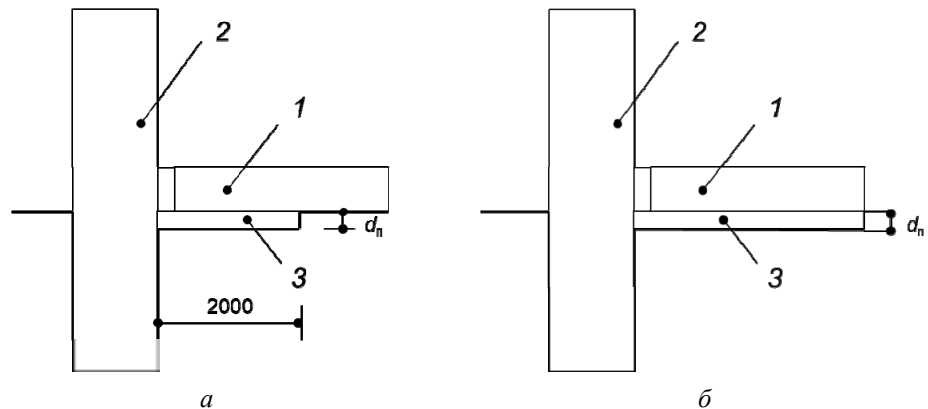


Рис. 4. Схемы теплоизоляции краевой зоны плиты пола (а) и всей плиты пола (б): 1 — плита пола; 2 — стена фундамента; 3 — утеплитель; d_n — толщина изоляции

При теплоизоляции краевой зоны пола (рис. 4, а) по периметру железобетонной плиты предусмотрена горизонтальная изоляция в виде плит из экструдированного пенополистирола толщиной d_n , шириной 2 м. Рассмотрены два уровня теплоизоляции краевой зоны пола: умеренный ($d_n = 0,025$ м) и повышенный ($d_n = 0,1$ м). Расчетная теплопроводность экструдированного пенополистирола $\lambda_{yt} = 0,031$ Вт/(м·К). Торцы плиты пола также теплоизолируются, что практически исключает тепловой поток в сторону наружной стены. Такой способ теплоизоляции способствует не только повышению теплозащитных свойств краевой зоны пола, но и снижению передачи ударного шума, возникающего при ходьбе по полу, а также структурного шума в расположенные выше квартиры.

Теплоизоляция всей плиты пола (рис. 4, б) предусматривает размещение по всей площади ниже плиты пола изоляции в виде плит толщиной d_n из экструдированного пенополистирола. Такой способ повышает уровень теплозащиты не только краевых зон пола, но и всей конструкции. Рассмотрены два уровня теплоизоляции плиты пола: умеренный ($d_n = 0,025$ м) и повышенный ($d_n = 0,1$ м).

Результаты расчета коэффициентов теплопередачи пола по грунту рассматриваемых конфигураций при различных способах теплоизоляции приведены на рис. 5—7. Пунктирной линией показано целевое значение коэффициента теплопередачи, рассчитанное на основе нормируемого сопротивления теплопередаче полов по грунту согласно СП 50.13330.2012³ при ГСОП = 4000 К·сут/г.

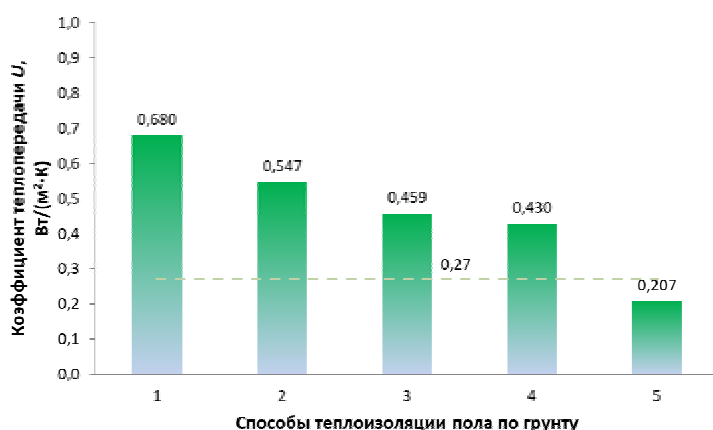


Рис. 5. Коэффициенты теплопередачи пола по грунту круглой конфигурации: 1 — базовый вариант (без теплоизоляции); 2 — умеренная теплоизоляция краевой зоны пола; 3 — повышенная теплоизоляция краевой зоны пола; 4 — умеренная теплоизоляция плиты пола; 5 — повышенная теплоизоляция плиты пола

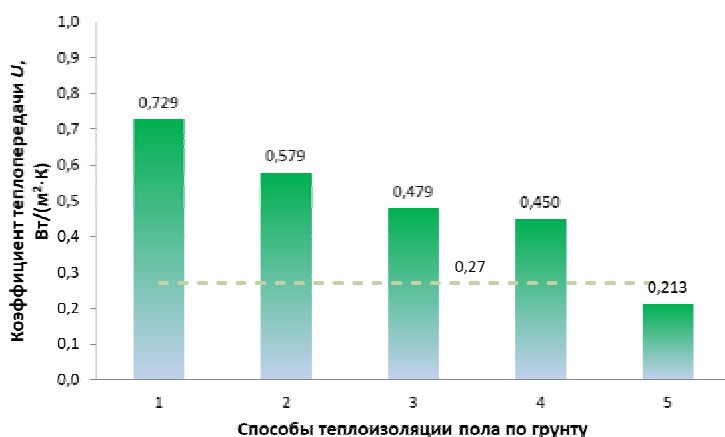


Рис. 6. Коэффициенты теплопередачи пола по грунту квадратной конфигурации: 1 — базовый вариант (без теплоизоляции); 2 — умеренная теплоизоляция краевой зоны пола; 3 — повышенная теплоизоляция краевой зоны пола; 4 — умеренная теплоизоляция плиты пола; 5 — повышенная теплоизоляция плиты пола

³ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М. : ФЦС, 2012. 101 с.

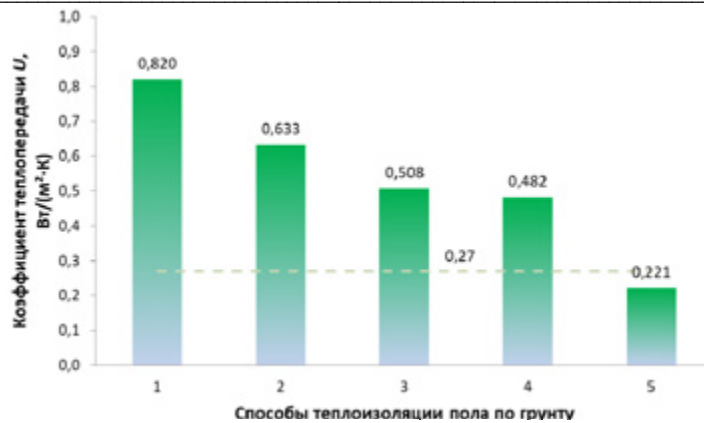


Рис. 7. Коэффициенты теплопередачи пола по грунту L -образной конфигурации: 1 — базовый вариант (без теплоизоляции); 2 — умеренная теплоизоляция краевой зоны пола; 3 — повышенная теплоизоляция краевой зоны пола; 4 — умеренная теплоизоляция плиты пола; 5 — повышенная теплоизоляция плиты пола

Анализ полученных результатов показывает, что во всех рассматриваемых конфигурациях пола по грунту максимальные значения коэффициента теплопередачи отмечаются в случае отсутствия теплоизоляции плиты пола. Так, например, для круглой плиты пола $U = 0,68$ Вт/(м²·К), для квадратной плиты $U = 0,729$ Вт/(м²·К), для L -образной плиты $U = 0,82$ Вт/(м²·К). Следовательно, усложнение формы здания в плане приводит к росту тепловых потерь через грунт. По сравнению с круглой плитой пола теплотери квадратной плиты возрастают на 7,21 %, L -образной плиты — на 20,6 %.

Влияние конфигурации пола по грунту заметно в том случае, если теплоизоляция плиты пола отсутствует. При этом грунт выступает как теплоизолятор, имеющий активное и реактивное термические сопротивления [18, 19]. Повышение компактности пола по грунту является пассивным средством регулирования тепловых потерь через грунт.

Полученные выше значения указывают на относительно низкие теплозащитные свойства пола. Поскольку коэффициент теплопередачи определен для всей поверхности пола, в краевых зонах, примыкающих к наружным стенам, теплозащитные свойства будут еще ниже. Такие конструкции в большинстве случаев не могут обеспечить требуемый поэлементный уровень теплозащиты зданий в условиях российского климата.

При отсутствии теплоизоляции возрастают дополнительные тепловые потоки через краевые зоны плиты. Такие потоки образуются вследствие передачи тепла в грунт, а также при контакте торцов плиты с наружными стенами. Добавочные тепловые потоки приводят к локальному снижению температуры на поверхности пола. Поэтому вблизи от наружных стен тепловой комфорт при контактном теплообмене человека с полом снижается.

Следовательно, теплоизоляция пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях необходима как с точки зрения обеспечения комфортных условий, так и по требованиям энергосбережения.

Умеренная теплоизоляция краевой зоны пола снижает удельные теплотери на 19,6...22,8 % (нижняя граница указанного интервала относится к круглой конфигурации пола, верхняя — к L -образной конфигурации).

Применение повышенной теплоизоляции краевой зоны пола позволяет сократить теплопотери пола соответственно на 32,5—38 %. Интересно отметить, что умеренная теплоизоляция всей поверхности пола дает почти такой же вклад (в среднем 38,8 %) в снижение теплопотерь пола по грунту, что и повышенная теплоизоляция краевой зоны пола.

Максимальное снижение теплопотерь имеет место при повышенной теплоизоляции плиты пола (около 73 %). Такой способ обеспечивает максимальный теплоизолирующий эффект и отвечает требованиям зеленого жилищного строительства в умеренном климате России.

Выводы

1. Теплопотери пола по грунту без теплоизоляции зависят от конфигурации пола. Усложнение формы здания в плане приводит к росту тепловых потерь через грунт до 20,6 %. Влияние конфигурации пола по грунту на теплопотери заметно в случае, если теплоизоляция плиты пола отсутствует. Повышение компактности пола по грунту является пассивным средством регулирования тепловых потерь через грунт.

2. При отсутствии теплоизоляции возрастают дополнительные тепловые потоки через краевые зоны плиты, что способствует локальному снижению температуры на поверхности пола. Поэтому вблизи наружных стен тепловой комфорт при контактном теплообмене человека с полом снижается. Теплоизоляция пола по грунту в зеленых многоквартирных жилых зданиях необходима как с точки зрения обеспечения комфортных условий, так и по требованиям энергосбережения.

3. Умеренная теплоизоляция краевой зоны пола снижает удельные теплопотери до 22,8 %. Применение повышенной теплоизоляции краевой зоны пола позволяет сократить теплопотери пола до 38 %. Такое решение способствует выравниванию температурного поля по поверхности конструкции и может обеспечить комфортные условия в помещении.

4. Максимальное снижение теплопотерь имеет место при повышенной теплоизоляции плиты пола (около 73 %). Такой способ обеспечивает максимальный теплоизолирующий эффект и отвечает требованиям зеленого жилищного строительства в умеренном климате России.

5. Дальнейшие исследования могут быть связаны с уточнением тепло-технических характеристик пола по грунту в зеленых зданиях в динамическом приближении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табунищikov Ю. А. Москва — умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. С. 12—13.
2. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Глобальные цели устойчивого развития и экологические требования к объектам недвижимости // Энергосбережение. 2022. № 6. С. 4—8.
3. Korniyenko S. The influence of the sky radiative temperature on the building energy performance // Magazine of Civil Engineering. 2022. Vol. 6. No. 114. Pp. 11412.
4. Baranova D., Sovetnikov D., Borodinecs A. The extensive analysis of building energy performance across the Baltic Sea region // Science and Technology for the Built Environment. 2018. Vol. 24. No. 9. Pp. 982—993.
5. Borodinecs A., Prozuments A., Zajacs A., Zemitis J. Retrofitting of fire stations in cold climate regions // Magazine of Civil Engineering. 2019. Vol. 90. No. 6. Pp. 85—92.
6. Perlova E., Platonova M., Gorshkov A., Rakova X. Concept project of zero energy building // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. Pp. 1505—1514.

7. Горшков А. С., Соколов Н. А. Несоответствие российских и международных стандартов при определении расчетных значений теплопроводности строительных материалов и изделий // Инженерно-строительный журнал. 2013. Т. 7. № 42. С. 7—14.
8. Korniyenko S. V. Renovation of residential buildings of the first mass series // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok. 2018. Pp. 022060.
9. Корниенко С. В. Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 167—177.
10. Антюфеев А. В., Корниенко С. В. Инновационный энергоэффективный квартал «Волжские дворики»: к 30-летию юбилею РААСН // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 115—122.
11. Vasilyev G. P., Gornov V. F., Kolesova M. V. Ground source heat pump systems efficiency in Russia — economical estimations and territory zoning // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 249. Pp. 012033.
12. Korniyenko S. V., Dikareva E. A. Optical remote sensing for urban heat islands identification // Construction of Unique Buildings and Structures. 2022. Vol. 6. No. 104. Pp. 10404.
13. An experimental study on the thermal effects of slab-edge-insulation for slab-on-grade housing in a moderate Australian climate / Z. Liu, D. Alterman, A. Page, B. Moghtaderi, D. Chen // Energy and Buildings. 2021. Vol. 235. Pp. 110675.
14. Малявина Е. Г. Теплотери здания: справочное пособие. М.: АВОК-ИРЕСС, 2011. 144 с.
15. Co-simulation of dynamic underground heat transfer with building energy modeling based on equivalent slab method / X. Kang, D. Yan, X. Xie, J. An, Z. Liu // Energy and Buildings. 2022. Vol. 256. P. 111728.
16. Saied A. E., Maalouf C., Bejat T., Wurtz E. Slab-on-grade thermal bridges: a thermal behavior and solution review // Energy and Buildings. 2022. Vol. 257. P. 111770.
17. Малявина Е. Г., Гнездилова Е. А., Левина Ю. Н. Расчетное сопротивление теплопередаче полов по грунту при современных способах теплозащиты // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 44—48.
18. Мусорина Т. А., Петриченко М. Р., Заборова Д. Д., Гамаюнова О. С. Определение активного и реактивного сопротивления для однослойного стенового ограждения // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 8. С. 1126—1134.
19. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой / Т. А. Мусорина, М. Р. Петриченко, Д. Д. Заборова, О. С. Гамаюнова, М. И. Куколев // Строительство и техногенная безопасность. 2021. Т. 22. № 74. С. 57—65.

© Корниенко С. В., Брехов Е. М., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В., Брехов Е. М. Теплотехнические особенности пола по грунту в зеленых зданиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 38—47.

Об авторах:

Корниенко Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, зав. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; skorn73@mail.ru

Брехов Егор Михайлович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; egor.brehov@yandex.ru

Sergey V. Kornienko, Egor M. Brehov

Volgograd State Technical University

THERMAL FEATURES OF THE GROUND FLOOR IN GREEN BUILDINGS

The thermal features of the ground floor in green multi-apartment residential buildings are considered. The influence of the ground floor configuration on heat loss is noticeable if there is no thermal insulation of the floor slab. Therefore, increasing ground floor compactness is a passive means of controlling heat losses via the ground. Moderate thermal insulation of the slab edge zone reduces specific heat loss to 22,8 %. Increased thermal insulation of the slab edge zone reduces specific heat loss to 38 %. This structure can provide comfortable conditions in the room. The maximum reduction in heat loss occurs with increased thermal insulation of the floor slab (about 73 %). This method provides the maximum thermal insulating effect and meets the requirements of green housing construction in the temperate climate of Russia.

Key words: green housing construction, green architecture, building element, ground floor, thermal insulation, compactness, heat transfer via the ground, thermal comfort, energy saving, energy efficiency.

For citation:

Kornienko S. V., Brehov E. M. [Thermal features of the ground floor in green buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 38–47.

About authors:

Sergey V. Kornienko — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; skorn73@mail.ru

Egor M. Brehov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; egor.brehov@yandex.ru

УДК 625.74

С. Г. Артемова, О. Б. Барлит, Н. М. Нурагунов

Волгоградский государственный технический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕТОДОВ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Представлены обоснование и результаты разработки внедряемых, ранее не применявшихся критериев подбора материала дорожной разметки, обеспечивающих ее всесезонную функциональную сохранность, и определения оптимальных климатических условий для выполнения работ по нанесению горизонтальной дорожной разметки. Предполагается написание двух статей. Представлена первая из них, включающая характеристики различных компонентов дорожной разметки, в частности применяемых материалов, их совершенствование, а также раскрывающая фундаментальную роль дорожной разметки в обеспечении безопасности участников дорожного движения. Обоснована актуальность темы исследования, определен объект исследования — элементы горизонтальной дорожной разметки и их гранулометрический состав.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная разметка, термопластик, функциональный срок службы, безопасность.

Организация существующей структуры дорожного движения должна быть направлена на обеспечение безопасности всех его участников. Достижение этой задачи возлагается на технические средства организации дорожного движения. Среди них особое место занимает дорожная разметка, обеспечивающая всесезонное визуальное ориентирование и водителей, и пешеходов.

Благодаря грамотному применению элементов разметки происходит снижение количества дорожно-транспортных происшествий, движение на многополосных автомобильных дорогах становится понятнее, очевидно облегчается передвижение в темное время суток [1].

Впервые дорожная разметка появилась в США, в штате Мичиган, в 1911 г. Сотрудник дорожной комиссии У. Каунти, двигаясь по узкой двухполосной дороге, встретил неисправный молоковоз. Струйка молока на темном асфальте надоумила Уэйна, что подобным образом разметив ось дороги, можно разделить встречные потоки транспортных средств.

В 1916 г. в штате Орегон офицер П. Рексфорд предложил наносить разделительную линию желтого цвета. Не получив поддержки, он реализовал идею за свой счет.

По настоящее время применение дорожной разметки является важнейшим фактором повышения уровня безопасности дорожного движения в странах Европы (рис. 1). Этот способ сравнительно малозатратен, но решает первостепенные задачи организации дорожного движения [2].

При движении в темное время суток или в условиях ограниченной видимости в 85 % случаев наличие такого оптического ориентира, как дорожная разметка, позволяет существенно сократить количество дорожно-транспортных происшествий.

Изучение практического опыта применения дорожной разметки в Российской Федерации и за рубежом показывает, что регулярное нанесение

разметки уменьшает аварийность в среднем на 20 %. Процент может снижаться в зависимости от погодных условий.



Рис. 1. История дорожной разметки

Сегодня организации, выполняющие нанесение дорожной разметки на территории г. Волгограда, осуществляют подбор материала для выполнения работ, исходя из заданий муниципального заказчика или же исходя из собственных предпочтений. В свою очередь заказчик определяет номенклатуру материала, исходя из требований нормативно-технической базы.

Погодно-климатические условия и транспортно-эксплуатационные показатели дорог оказывают решающее воздействие на светотехнические характеристики дорожной разметки¹. При их ухудшении светотехнические показатели разметки также ухудшаются, часто происходит отслоение отдельных элементов горизонтальной дорожной разметки, возникает необходимость повторного выполнения дорожных работ, что, в свою очередь, экономически не целесообразно для региона (рис. 2, 3).

Сохранность разметки и ее требуемых светотехнических характеристик в Волгоградском регионе ухудшает, прежде всего, резко континентальный климат, резкие перепады температур не только в рамках определенного временного периода, но и погодного сезона в целом. Городская улично-дорожная сеть проходит через восемь районов г. Волгограда, суммарная протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием составляет более 430 км. В общем представлении количество транспортных улиц составляет более 335.

Учитывая, что под влиянием различных факторов срок службы дорожной разметки не соответствует нормативным требованиям,² выполненные

¹ ГОСТ Р 52289—2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. М. : Стандартинформ, 2020. 134 с.

² ГОСТ Р 51256—2018. Технические средства организации дорожного движения.

Разметка дорожная. Классификация. Технические требования. М. : Стандартинформ, 2018. 44 с.

дорожные работы не дают гарантии функциональной сохранности разметки в рамках нормативных сроков. Таким образом, дорожная разметка должна сохранять свои функциональные параметры на протяжении всего периода эксплуатации, что требует проведения различных мероприятий для устранения существующих недостатков³.



Рис. 2. Причины отслоения материала

В п. 5.1.13 ГОСТ Р 51256—2018 содержится информация о нормируемых сроках функциональной долговечности дорожной разметки, выполненной термопластичными материалами, холодным пластиком:

- толщиной 1,5 мм и более — нормативный срок службы не менее 1 года;
- толщиной менее 1,5 мм — нормативный срок службы не менее 6 месяцев;
- краской — не менее 3 месяцев.

При определении транспортно-эксплуатационных характеристик разметки используют такие показатели, как коэффициент яркости, удельный коэффициент светоотражения при диффузном дневном или искусственном освещении Qd и удельный коэффициент световозвращения при сухом покрытии RL и при мокром покрытии RW ⁴.

³ ОДМ 218.6.020—2016. Методические рекомендации по устройству дорожной разметки. М. : Росавтодор, 2016. 110 с.

⁴ EN 1436:2000. Road marking materials. Road marking performance for road users. URL: https://www.highwaymarkings.ie/documents/is_en_1436_0.pdf.



Рис. 3. Причины истирания материалов

Указанные параметры содержат определенные значения, которые должны сохраняться и нормативно определяться на вновь нанесенной дорожной разметке в течение 3 месяцев эксплуатации при нанесении термопластиком и холодным пластиком толщиной 1,5 мм и более и не менее одного месяца — при толщине менее 1,5 мм [3].

В рамках дальнейшей эксплуатации разметки допускается снижение значений отдельных показателей, в частности коэффициента яркости и коэффициента световозвращения не более, чем на 25 %.

Учитывая требования нормативно-технической документации, разрабатываемые мероприятия должны быть направлены на повышение долговечности материалов и сохранение ими светотехнических характеристик.

Прежде всего необходимо определить группу материалов, улучшение которых станет возможным в рамках разрабатываемых мероприятий. Нами обращалось внимание на следующие характеристики материалов: устойчивость к воздействию погодных условий, универсальность в применении, стоимость как материалов, так и выполненных работ. В большинстве случаев применяются краска и термопластичные материалы, холодный пластик, полимерные ленты.

Эмали и краски — суспензии высокодисперсных пигментов и наполнителей в лаках или водные дисперсии синтетических полимеров, содержащие функциональные добавки (диспергаторы, стабилизаторы, пластификаторы и др.), образуют после высыхания твердые непрозрачные лакокрасочные покрытия⁵.

Пластики холодного нанесения — разметочные материалы на основе реакционноспособных мономеров, содержащие пигменты и наполнители, образуют после химического отверждения твердые непрозрачные лакокрасочные покрытия с высокой функциональной долговечностью⁶.

⁵ ГОСТ Р 53172—2008. Изделия для дорожной разметки. Микростеклошарики. Технические требования. М. : Стандартинформ, 2009. 5 с.

⁶ EN 1423:1997. Road marking materials. Drop on materials. Glass beads, antiskid aggregates and mixtures of the two. URL: <https://pdfslide.net/documents/en-1423-1997-a1.html?page=1>.

Термопластики — терморазмягчаемые пластичные материалы на основе полимерного связующего, содержащие пигменты и наполнители, образуют после отверждения толстослойные непрозрачные лакокрасочные покрытия с высокой функциональной долговечностью (рис. 4).

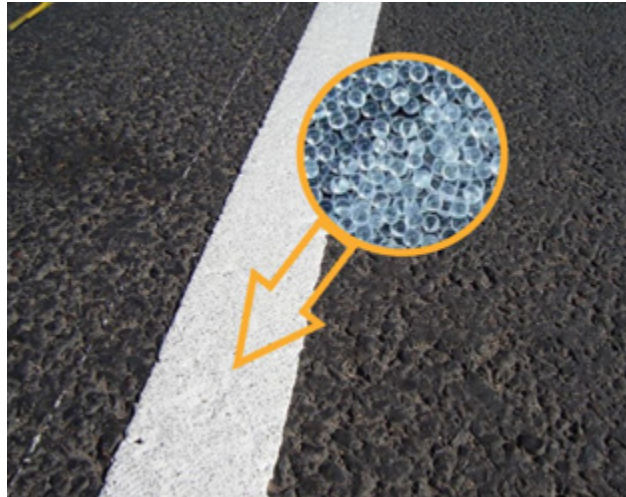


Рис. 4. Структура термопластика

Компоненты на основе растворителей или на водной основе при длительной эксплуатации оказываются менее устойчивыми к воздействию факторам в отличие от пластиковых и требуют большего расхода материала.

Краска на основе растворителей требует 10-кратного нанесения для удовлетворения минимальных требований в течение 10 лет. В то же время пластик, наносимый холодным распылением, требует лишь 4-кратного нанесения. Это обеспечивает более эффективное использование материала дорожной разметки при меньшем уровне воздействия на окружающую среду⁷.

Дорожная разметка, выполненная из термопластика и пластика холодного нанесения, обладает более высокими показателями износоустойчивости и является более экологичным решением.

Таким образом, учитывая вышесказанное, определение оптимальных климатических условий для проведения работ по нанесению дорожной разметки будет рассматриваться преимущественно для термопластичных материалов. Также предложено проведение дополнительных лабораторных испытаний для термопластичных материалов по характеристикам:

- текучесть расплава термопластика;
- вязкость расплава при температуре 190 °С по вискозиметру Брукфильда.

Лабораторные испытания материалов, как и нанесение дорожной разметки, — специфичный вид дорожных работ, требующий подтверждения качества, соответствия государственным стандартам⁸. Специализированные организации, выполняющие работы по контролю качества дорожной разметки,

⁷ СНиП 3.06.03—85. Автомобильные дороги. М. : Минрегион России, 2013. 67 с.

⁸ EN 1424:1997. Road marking materials. Premix glass beads. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/0c74cbfc-b49e-4910-94c3-fedf050af7f2/en-1424-1997>.

располагают необходимым оборудованием для оценки применяемых материалов, а также операционного и приемочного контроля [4].

Первоначальным этапом является входной контроль качества, устанавливающий соответствие разметочного материала нормативным требованиям ГОСТ Р 52575—2021 по следующим показателям: комплектность, упаковка, маркировка, способ хранения и физико-химические свойства⁹.

Операционный контроль качества осуществляется в процессе нанесения дорожной разметки и состоит в определении соответствия параметров процесса ее нанесения требованиям технического задания и технической документации на применяемые разметочные материалы¹⁰.

Приемочный контроль выполненной дорожной разметки осуществляется комиссионно, при объезде всех участков улично-дорожной сети с использованием инструментальных методов¹¹.

При проведении всех этапов контроля качества дорожной разметки, а также в процессе исследований установлено, что эффективность устройства и эксплуатации горизонтальной дорожной разметки зависит от времени высыхания термопластика, световозвращения, коэффициента сцепления и износостойкости¹². Таким образом, необходимо обратиться к гранулометрическому составу термопластичных материалов для всестороннего анализа и поиска возможных улучшений.

Важнейшую роль при определении значений коэффициентов температурного расширения и сжатия составляет влияние полимера-связующего, который определяет износостойкость [5].

В настоящее время разрабатывается инновационное поколение термопластичных материалов, имеющих более высокие показатели температурного размягчения. Недостатки прежних материалов были исправлены с помощью специальных высокомолекулярных добавок. Это позволило снизить хрупкость пластика при эксплуатации в условиях низких температур и чувствительность к влажности дорожного покрытия. Еще одно преимущество — повышение устойчивости к различным загрязнениям, что объясняется гидрофобностью связующего [6].

Анализируя физико-механические свойства новых отечественных термопластиков в широком интервале температур и сравнивая их с характеристиками лучших зарубежных материалов, можно отметить близкие значения параметров, равно как и внешний вид испытываемых образцов¹³. Об этом свидетельствует и поведение материалов при контрольно-полевых испытаниях (табл. 1, 2) [7].

⁹ ГОСТ Р 52575—2021. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы для дорожной разметки. Технические требования. М. : Стандартинформ, 2021. 12 с.

¹⁰ ENV 13459-1:1999. Strassenmarkierungsmaterial. Qualitätskontrolle. Teil 1: Probenahme an rückgestellter Production und Prufung. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/00e00609-e61b-45e6-ae4d-1a5c85e28165/env-13459-1-1999>.

¹¹ EN 13197:1998. Road marking materials. Wear simulators. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/cbd7d04f-ffa0-43a1-9c5d-a643b61c3238/en-13197-2001>.

¹² EN 13459-3:1999. Strassenmarkierungsmaterial. Qualitätskontrolle. Teil : Anforderungen in der Praxis. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/4ffad5b9-8b6c-4fa6-b980-3d60eabefa09/env-13459-3-1999>.

¹³ EN 1871: 2000. Road marking materials — Physical properties. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/38280e26-2038-4435-b91a-fefd115ed22e/en-1871-2000>.

Сравнительный анализ основных характеристик материалов

Наименование показателя	Значение нормируемых показателей для размечочных материалов		
	Краска	Термопластик	Пластик холодного нанесения
Внешний вид поверхности отвержденного размечочного материала	Однородная поверхность без трещин, пузырей или отслоений		
Условная вязкость по вискозиметру ВЗ-246, диаметром сопла $d = 4$ мм, при $20,0^{±0,5}$ °С, с	80...160	—	— 80...160 для спрей-пластиков
Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	75	—	92
Время высыхания (твердения) при $20,0^{±0,5}$ °С, не более мин: до степени 2 до степени 5	5...10 —	—	— 25
Коэффициент диффузного отражения (коэффициент яркости, белизна) по фотоблескомеру ФБ-2, для цвета, не менее %: белого желтого оранжевого черного	87 40 30 10	—	80 40 30 10
Эластичность покрытия при изгибе на стержне диаметром не более мм	10*	—	20*
Степень перетира, не более мкм	70*	—	—

Твердость пленки по маятниковому прибору ГМЛД (маятник А), не менее	0,20*	—
Укрывистость высушенной пленки, не более г/м ²	220	—
Морозостойкость покрытия, не менее циклов	10	—
Адгезия к асфальтобетону и цементобетону, не менее, Н/см	6,0	—
Адгезия к асфальтобетону, не менее, МПа до замораживания-оттаивания после 10 циклов замораживания-оттаивания	—	0,50 0,40
Водонасыщение, не более, % по объему	—	0,5
Растекаемость при температуре нанесения, мм	—	110...140
Температура размягчения по КиШ, не менее, °С	—	80
Плотность, не менее, г/см ³	—	1,5

Примечание. * Не нормируется для красок оранжевого цвета, грубодисперсных красок и толстослойных пластиков холодного нанесения.

Свое решение находит задача по созданию эластичного, не разрушающегося при отрицательной температуре, долговечного разметочного материала с длительным сроком функционирования. Это достигается путем использования в качестве пленкообразующего компонента твердых углеводородных алифатических смол в сочетании с термоэластопластами, полученными блоксополимеризацией стирола и непредельных алифатических углеводородов.

Т а б л и ц а 2

Влияние материалов для дорожной разметки на организм человека

Материал	Состав	Влияние на организм человека
Краска на водной основе	Суспензии высокодисперсных пигментов и наполнителей в водных дисперсиях синтетических полимеров, содержащие диспергаторы, стабилизаторы, пластификаторы	III класс опасности — умеренно опасные вещества
Краска на основе растворителя	Суспензии пигмента в растворе коллоксилина и алкидно-эпоксидной смолы в летучих органических растворителях с добавлением пластификаторов	
Пластик холодного нанесения	Раствор смолы в мономере, пластификатор и пигмент, наполнитель, технологические и функциональные добавки, отвердитель	
Пластик горячего нанесения	Терморазмягчаемые пластичные материалы на основе полимерного связующего, пигменты, наполнители, функциональные добавки, отвердитель	

Примечание. Срок службы разметки, нанесенной краской, — не менее 6 месяцев; пластиком горячего и холодного нанесения — не менее 3 лет.

Таким образом, новые химические соединения призваны улучшить физико-механические свойства разметочного материала, увеличить срок эксплуатации и повысить устойчивость к воздействию различных погодных условий.

Выводы. На сегодняшний день наиболее оптимальным материалом для нанесения горизонтальной дорожной разметки является термопластик горячего нанесения. Полиэфирные пластики с добавочными пластификаторами находят новое применение в дорожных работах, обеспечивающих полную функциональную сохранность дорожной разметки и ее светотехнические характеристики. Предлагаемые мероприятия направлены на решение поставленных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В.* Анализ транспортных потоков основных магистралей г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 121—131.
2. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах. М. : Росавтодор, 2003. 69 с.
3. Методические рекомендации по устройству горизонтальной дорожной разметки безвоздушным способом. М. : Росавтодор, 2001. 60 с.
4. *Корневский В. В., Мордик Е. А.* Оценка геометрических параметров дороги с использованием передвижной дорожной лаборатории // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77), С. 48—56.
5. Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог. Правила применения: СТБ 1520—2008. Минск, 2008. 20 с.

6. Методические рекомендации по выбору и применению материалов для разметки автомобильных дорог. М. : Союздорнии, 2002. 25 с.

7. Пугин К. Г., Юшков В. С. Современные материалы нанесения дорожной разметки // Материалы международной науч.-практич. конф. «Проблемы функционирования систем транспорта». Тюмень, 2010. С. 275—278

© *Артемова С. Г., Барлит О. Б., Нуракунов Н. М., 2023*

*Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Артемова С. Г., Барлит О. Б., Нуракунов Н. М. Совершенствование системы методов подбора материалов для дорожной разметки // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 48—57.

Об авторах:

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

Барлит Олег Борисович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; barlitoleg60@yandex.ru

Нуракунов Никита Максимович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; nikita.nurakhunov@mail.ru

Svetlana G. Artemova, Oleg B. Barlit, Nikita M. Nurakhunov

Volgograd State Technical University

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF METHODS OF SELECTION OF MATERIALS FOR ROAD MARKING

The purpose of the work is to develop and substantiate the implemented, previously unused criteria for the selection of material for the application of road markings in order to ensure all-season functional safety and to determine the optimal climatic conditions for the performance of work on the application of horizontal road markings.

The cycle of work includes writing two articles. At the moment, the first part of the work is presented and includes the characteristics of various components of road markings, in particular the materials used, their improvement, as well as the fundamental nature and role of road markings in ensuring the safety of road users. The relevance of the research topic and its relationship with the presented material is presented. In turn, the object of the study will be the elements of horizontal road markings and their granulometric composition.

К е у w o r d s: automobile road, road marking, thermo-plastic, functional service life, safety.

For citation:

Artemova S. G., Barlit O. B., Nurakhunov N. M. [Improvement of the system of methods of selection of materials for road marking]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 48—57.

About authors:

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

Oleg B. Barlit — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; barlitoleg60@yandex.ru

Nikita M. Nurakhunov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; nikita.nurakhunov@mail.ru

УДК 625.7/8

**Б. А. Бондарев^а, Т. К. Акчури^б, О. В. Душко^б, А. Б. Бондарев^а,
И. А. Ткачева^а, В. К. Жидков^а**

^а *Липецкий государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Освещаются вопросы и проблемы образования и распространения дефектов и повреждений на поверхности покрытия автомобильных дорог промышленных предприятий с жесткой дорожной одеждой. Подробно рассмотрены слои дорожной одежды промышленной автодороги, их физико-механические характеристики. Определены модуль упругости верхних слоев, остаточный ресурс на основе методики расчета, а также класс бетона основания дорожной одежды. Предложены методы ремонта и купирования повреждений.

Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетон, дефект, повреждение, геоматериал, геосетка.

Автомобильные дороги промышленных предприятий — сложные конструктивные системы, состоящие из покрытия, выполненного из асфальтобетона, жесткого цементобетонного основания и щебеночной подушки, передающей нагрузку на грунт земляного полотна [1—3]. Для промышленных автомобильных дорог различного назначения, как правило, предусматривают индивидуальную конструкцию дорожной одежды, рассчитанную под конкретные нагрузки с учетом роста интенсивности грузоперевозок. Такое становится возможным благодаря частному характеру владений этими линейными сооружениями. Однако в ряде случаев конструкция дорожной одежды неспособна воспринять действующие нагрузки, в связи с чем возникают дефекты, ярко выраженные на поверхности покрытия проезжей части: продольные и поперечные трещины, трещины над конструкцией стыка бетонных плит основания, наплывы, колеиность. Из-за наличия даже самых мелких повреждений конструктивных слоев дорожной одежды в перспективе сильно снижается долговечность, а также транспортно-эксплуатационные показатели автодороги, в связи с чем на предприятиях, учитывая постоянный и неостановимый цикл работы крупных заводов Российской Федерации, необходимо производить планово-предупредительный ремонт дорожной одежды с применением геосинтетических материалов [4]. Одна из таких автодорог промышленного предприятия Липецкой области рассмотрена в настоящей статье.

Конструкция автомобильной дороги представляет собой многоуровневую систему, состоящую из материалов с различными физико-механическими свойствами (рис. 1) [5—7]. Верхний слой дорожной одежды выполнен из асфальтобетона типа В марки П различной толщины (35—50 мм) на всем участке автодороги. Последующие слои асфальтобетона, количество которых на различных участках автодороги от 2 до 3, выполнены из асфальтобетонной смеси типов Б и Д марки П.

Цементобетонное основание выполнено из бетона класса В12,5 и имеет толщину 105—160 мм.




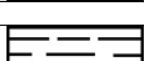
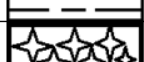
Место отбора проб	Схема	Толщина слоя	Слой дорожного покрытия
№31 ПК12+40 лево		45мм	Верхний слой (асфальтобетон)
		35мм	Нижний слой (асфальтобетон)
		50мм	Третий слой (асфальтобетон)
		45мм	загрязнение Четвертый слой (асфальтобетон)
		130мм	Цементобетон

Рис. 1. Конструкция дорожной одежды

Результаты определения коэффициента уплотнения и водонасыщения в слоях, выполненных из асфальтобетона, приведены в табл. 1. Как видно из результатов лабораторных исследований (см. табл. 1), верхние слои дорожной одежды обследуемой автодороги (слои покрытия) по большей части недоуплотнены и имеют повышенное водонасыщение, что говорит о несоблюдении норм в процессе укладки дорожной одежды, а также разуплотнении смеси в процессе эксплуатации автомобильной дороги под высокими нагрузками.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические характеристики слоев дорожной одежды, выполненных из асфальтобетона

№ пробы	№ слоя	Толщина слоя, мм	Тип асфальтобетона марки П	Коэффициент уплотнения	Показатель водонасыщения, %
27	1 (верхний)	165	Г	0,87	12,30
28	1 (верхний)	130	В	0,95	5,20
29	1 (верхний)	50	В	1	1,30
	2 (нижний)	125	Г	0,93	7,60
30	1 (верхний)	45	В	0,97	2,90
	2 (нижний)	65	Г	0,89	12,60
31	1 (верхний)	45	В	1	0,90
	2 (нижний)	35	Г	0,91	6,20
	3 (дополнительный)	50	Г	0,91	5,10
	4 (дополнительный)	45	Г	0,91	5,00
32	1 (верхний)	35	Б	0,94	8,30
	2 (нижний)	35	Г	1	0,80
	3 (дополнительный)	60	Г	0,99	1,00
33	1 (верхний)	40	Б	0,94	8,20
	2 (нижний)	40	Г	0,99	1,10
	3 (дополнительный)	40	Г	1	0,70
34	1 (верхний)	45	Б	0,93	10,10
	2 (нижний)	35	Г	0,89	13,40
	3 (дополнительный)	50	Г	1	0,60

*Курсивом выделены характеристики, не удовлетворяющие требованиям нормативных документов (ГОСТ 9128—2013, СП 78.13330.2012).

Модуль упругости верхних слоев покрытия является одной из важнейших характеристик, влияющих на долговечность конструкции дорожной одежды в целом [8—12]. Результаты измеренного модуля упругости верхнего слоя дорожной одежды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Измерение модуля упругости и коэффициента запаса прочности

Начало участка, м	Конец участка, м	Модуль упругости, МПа		Коэффициент запаса прочности
0,0	300,0	163,0	150,0	1,09
300,0	600,0	156,0	150,0	1,04
600,0	900,0	155,0	150,0	1,03
900,0	1200,0	160,0	150,0	1,07
1200,0	1500,0	181,0	150,0	1,21
1500,0	1800,0	182,0	150,0	1,21
1800,0	2100,0	181,0	150,0	1,21
2100,0	2414,0	181,0	150,0	1,21

Для оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и назначения сроков их ремонтов в настоящее время используются различные подходы. Одним из них является оценка расчетного и остаточного ресурса дорожной одежды.

Расчетный ресурс высчитывается, исходя из общего количества приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности дорожной конструкции за расчетный срок службы. Остаточный ресурс представляет собой число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности дорожной конструкции от текущего момента эксплуатации до достижения дорожной конструкцией предельного состояния [13].

Методика оценки остаточного ресурса в достаточном объеме разработана для нежестких дорожных одежд А. Н. Тиратурияном и Е. В. Угловой. По их мнению, целями оценки остаточного ресурса для дорожных одежд являются:

- разработка направления обеспечения расчетного срока службы, а также эксплуатационной надежности дорожных конструкций в целом;
- определение времени заблаговременного проведения ремонтных работ;
- назначение организационно-технических и диагностических мероприятий.

При этом оценка остаточного ресурса может производиться двумя способами:

- 1) для новых участков автомобильных дорог, находящихся в эксплуатации не более 5 лет, расчет ведется с учетом фактической интенсивности движения на участке автомобильной дороги;
- 2) для дорог, эксплуатируемых более 5 лет, расчет производится по фактическим данным состояния, исходя из коэффициента прочности и визуальной оценки состояния покрытия [14, 15].

Для того, чтобы определить остаточный ресурс дорожной конструкции, необходимо вычислить расчетный ресурс дорожной конструкции, $\sum N_p$, учитывающий приложение нагрузки от незагруженных $\sum N_p^{\text{пуст}}$, груженых $\sum N_p^{\text{груз}}$ и перегруженных $\sum N_p^{\text{перегр}}$ автотранспортных средств, по формуле:

$$\sum N_p = \sum N_p^{\text{пуст}} + \sum N_p^{\text{груз}} + \sum N_p^{\text{перегр}}. \quad (1)$$

Тогда остаточный ресурс можно определить как разницу между расчетным ресурсом дорожной одежды за прогнозируемый и фактический срок службы по формуле:

$$\sum N_{\text{ост}} = \sum_{t=1}^{t_{\text{сп}}} N_p - \sum_{t=1}^{t_{\text{ф}}} N_p. \quad (2)$$

Таким образом, прогнозирование остаточного ресурса может применяться для предиктивной аналитики технического обслуживания и ремонта объектов транспортной инфраструктуры [16].

Пользуясь методикой, описанной в СТО АВТОДОР 2.4—2013, рассчитали остаточный ресурс дорожной одежды (табл. 3) исследуемого участка автодороги.

Таблица 3

Остаточный ресурс дорожной одежды

Начало участка, м	Конец участка, м	Модуль упругости факт., МПа	Модуль упругости требуемый, МПа	Коэффициент запаса прочности	Остаточный ресурс, %
0,0	300,0	163	150	1,09	18
300,0	600,0	156	150	1,04	7
600,0	900,0	155	150	1,03	5
900,0	1200,0	160	150	1,07	7
1200,0	1500,0	181	150	1,21	50
1500,0	1800,0	182	150	1,21	50
1800,0	2100,0	181	150	1,21	50
2100,0	2414,0	181	150	1,21	50

Результаты расчета показывают, что остаточный ресурс на участке 0,0...1200,0 м обследуемой автодороги равен 10 %, а на участке 1200,0...2414,0 м — 50 %, что говорит о значительном снижении долговечности конструкции автодороги.

На поверхности покрытия дорожной одежды на всем протяжении автодороги наблюдаются характерные повреждения: сеть разнонаправленных трещин с шириной раскрытия до 30 мм, выбоины глубиной до 35 мм, просадки покрытия. Многие из этих дефектов имеют отраженный характер, т. е. передаются на вышележащие слои покрытия от основания дорожной одежды. Проведя вскрытие дорожной одежды (рис. 2), получив результаты о физико-механических характеристиках материалов дорожной одежды и проведя расчет дорожной одежды в программе «Robur Топоматик», установили, что несущая способность конструктивных слоев дорожной одежды, исходя из интенсивности автомобильного движения на предприятии, не обеспечена.

Класс бетона испытанных бетонных образцов, взятых из основания дорожной одежды, размером 10,0×10,0×10,5 см, составляет В12,5, что не соответствует нормативным требованиям, так как минимальный класс бетона, применяемого в конструктивных слоях жестких дорожных одежд, должен

быть не менее В15. Однако это справедливо для городских автодорог и улиц, рассчитанных, как правило, под нагрузку А11,5, и должен корректироваться при проектировании автодороги на предприятии.



Рис. 2. Результаты вскрытия дорожной одежды

Современные промышленные предприятия обеспечивают колоссальный объем производства материалов и изделий, а следовательно, столь же колоссальный объем грузоперевозок внутри предприятий [17]. Это должно учитываться при проектировании дорожной одежды и подборе прочностных характеристик материалов. На рисунке 2 видно, что цементобетонное основание дорожной одежды с классом прочности В12,5 неспособно воспринять действующие нагрузки. Даже наличие 3 и более слоев асфальтобетонного покрытия, которое должно уменьшать напряжения в слоях основания, не исправляет ситуацию. Особенно сильна эта проблема после проявления (отражения) дефектов основания на верхнем слое покрытия дорожной одежды, когда образовавшиеся трещины, сквозь которые просачивается вода, вызывают интенсификацию уже имеющихся повреждений (рис. 3).



Рис. 3. Повреждения на поверхности асфальтобетонного покрытия

Для предотвращения дальнейшего развития повреждений вплоть до полного отказа автодороги необходимо производить ремонтные работы. Но, как уже упоминалось выше, промышленную автодорогу крайне затруднительно полностью закрыть для выполнения всех надлежащих мероприятий: вскрытия дорожной одежды, замены бетона основания, устройства нижнего и верхнего слоев асфальтобетонного покрытия из горячих асфальтобетонных смесей. Поэтому в ряде случаев принимается решение о снятии верхнего слоя асфальтобетонного покрытия, заделке трещин, каверн и прочих повреждений нижнего слоя и укладке слоя геосинтетического материала с последующей закаткой под асфальтобетон. Этот метод уже неоднократно доказал свою эффективность и, хоть и не устраняет причину проблемы, но способен значительно продлить долговечность конструкции дорожной одежды в целом.

Анализ физико-механических характеристик материалов дорожной одежды и соответствующих расчетов позволяет сделать вывод об исчерпании несущей способности автомобильной дороги и необходимости ее реконструкции в дальнейшем.

Как показали исследования [18], сетки из полимерных материалов способствуют замедлению образования трещин на асфальтобетонных покрытиях, вызванных динамическими воздействиями колес автомобильного транспорта. Что еще немаловажно, сетки из полимерных материалов предотвращают образование отраженных трещин на поверхности покрытия.

Расположенные в слоях асфальтобетона геосетки также значительно повышают общий модуль упругости асфальтобетонного покрытия [19], что положительно сказывается на долговечности конструкции в целом. Наконец, геосинтетический материал, расположенный в слоях асфальтобетонного покрытия, заметно препятствует колееобразованию [20].

Таким образом, результат ремонта промышленных автомобильных дорог напрямую зависит от качества применяемых материалов и соблюдения всех технологических норм при устройстве конструктивных слоев. В случае использования некачественных материалов или несоответствующей техники

результат будет диаметрально противоположным, и вместо купирования имеющихся проблем получим лишь проявление новых. Поэтому при осуществлении ремонтных мероприятий необходимо неукоснительно следовать рабочей документации или использовать технологические карты, разработанные под данную автодорогу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшкова Н. Г. Изыскания и проектирование дорог промышленного транспорта : учебное пособие. Саратов : Профобразование, 2017. 257 с.
2. Федоров Б. А., Королев А. С. Конструкции промышленных автомобильных дорог на болотах // Торфяная промышленность. 1989. № 7. С. 25—28.
3. Миренков П. С., Малявко Д. А., Молодцова Е. А., Музалев Д. В. Об использовании монолитных цементобетонных смесей в покрытиях автомобильных дорог // Современные тенденции молодежной науки : сб. науч. тр. национальной конф. Брянск : ФГБОУ ВО Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2020. С. 402—403.
4. Золн Р. Н., Заббаров А. Ш., Зиганшин И. И., Зарипов А. М. Улучшение технико-эксплуатационных характеристик дорожного покрытия // Наука и образование сегодня. 2017. № 2(13). С. 31—33.
5. Клековкина М. П. Нормативное назначение и реальная роль швов в жестких дорожных одеждах // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2(61). С. 200—204.
6. Глуценко В. В. Конструкции дорожных одежд в городах // Студенческий. 2022. № 40(210). Ч. 1. С. 7—8.
7. 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 135. 2019. P. 6. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/61/e3sconf_itese18_01018.pdf.
8. Tiraturyan A. N., Uglova E. V., Nikolenko D. A., Nikolenko M. A. Model for determining the elastic moduli of road pavement layers // Magazine of Civil Engineering. 2021. Vol. 3. No. 103. Pp. 10308.
9. Nakseok K. Development of a Practical Rutting Characterization Method for Bituminous Mixtures // Journal of the Korea Society of Disaster Information. 2014. Vol. 10. No. 1. Pp. 25—32.
10. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602. 2011. URL: <https://trid.trb.org/view/1124027>.
11. Lytton R. Backcalculation of Pavement Layer Properties. Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli. ASTM International, 2008. 68 p.
12. Research on Sustainable Pavements: Changes in In-Place Properties of Recycled Layers Due to Temperature and Moisture Variations / H. Miller, J. S. Daniel, S. Eftekhari, V. Kestler, R. B. Mallick // Airfield and Highway Pavements 2017: Pavement Innovation and Sustainability — Proceedings of the International Conference on Highway Pavements and Airfield Technology. 2017. Pp. 69—78.
13. Максимычев О. И., Бойков В. Н. Поддержка жизненного цикла проектов дорожно-строительных работ в парадигме цифровой экономики // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2019. № 1(12). С. 10—15.
14. Тиратуриян А. Н., Углова Е. В., Ляпин А. А. Энергетический метод определения остаточного ресурса нежестких дорожных одежд на стадии эксплуатации // Дефектоскопия. 2020. № 10. С. 71—80.
15. Tiraturyan A. N. New approach to technical monitoring of the condition of flexible roadway pavements // Russian Journal Of Building Construction and Architecture. 2019. Vol. 3. No. 43. Pp. 81—94.
16. Бондарев Б. А., Курочкин А. В., Коста А. А., Корнеева А. О. Методы капитального ремонта и реконструкции дорожных одежд с цементобетонными покрытиями // Современная наука: теория, методология, практика : материалы III-ей Всероссийской (национальной) науч.-практич. конф. Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2021. С. 206—207.
17. Челушкин И. А. Влияние сил от колес автомобиля при движении по криволинейным участкам дорог на образование колеи в асфальтобетонном покрытии. Ч. 1. Поперечные силы // Наукоеведение. 2015. Т. 7. № 6(31). С. 150.

18. Ушаков В. В. Об эффективности геосинтетиков в конструкциях дорожных одежд // Инновации в строительстве. Дороги. Геосинтетические материалы. 2019. № 75. С. 22—24.
19. Штабинский В. В. Ремонт асфальтобетонных покрытий с применением геосеток // Инновации в строительстве. Дороги. Геосинтетические материалы. 2019. № 75. С. 75—81.
20. Bituminous Materials with a High Resistance to Flow Rutting / M. Kerboua, A. Megnounif, M. Benguediab, Kh. Benrahou, F. Kaoulala // American Journal of Civil Engineering and Architecture. 2014. Vol. 2, No. 1. Pp. 1—11.

© Бондарев Б. А., Акчурин Т. К., Душко О. В., Бондарев А. Б., Ткачева И. А., Жидков В. К., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Анализ дефектов и повреждений конструкций дорожных одежд на автомобильных дорогах промышленных предприятий и пути их устранения / Б. А. Бондарев, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, А. Б. Бондарев, И. А. Ткачева, В. К. Жидков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 58—66.

Об авторах:

Бондарев Борис Александрович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и конструкций, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; LNSP-48@mail.ru

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

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, первый проректор, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

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

Ткачева Ирина Александровна — старший преподаватель каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; itkaceva@yandex.ru

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

Boris A. Bondarev, Talgat K. Akchurin, Oleg V. Dushko, Alexander B. Bondarev, Irina A. Tkacheva, Vladimir K. Zhidkov

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

ANALYSIS OF DEFECTS AND DAMAGES OF PAVE STRUCTURES ON THE ROADS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES AND WAYS TO ELIMINATE THEM

This paper describes the issues and problems of the formation and distribution of defects and damage on the surface of industrial roads with rigid pavement. The layers of pavement of the industrial road, as well as their physical and mechanical characteristics, are considered in detail. The modulus of elasticity of the upper layers, the residual resource based on the calculation method, as well as the concrete class of the pavement base are determined. Methods of repair of defects are proposed.

К е y w o r d s: road, asphalt concrete, defect, damage, geomaterial geogrid.

For citation:

Bondarev B. A., Akchurin T. K., Dushko O. V., Bondarev A. B., Tkacheva I. A., Zhidkov V. K. [Analysis of defects and damages of pave structures on the roads of industrial enterprises and ways to eliminate them]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 58—66.

About authors:

Boris A. Bondarev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; LNSP-48@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

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

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

Irina A. Tkacheva — Senior Lecturer of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; itkacheva@yandex.ru

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

УДК 504.3.054:625.7/8

Д. П. Боровков^а, П. А. Сидякин^б, Д. В. Щитов^б, Е. Н. Логачева^б, Е. И. Шевцов^в

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Пятигорский институт — филиал Северо-Кавказского федерального университета*

^в *ООО «НВЭК-ПБ»*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПЫЛЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ РЕГИОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Близкое расположение автомобильных дорог способствует повышению запыленности воздуха на прилегающих территориях и в зданиях. Проблема запыленности воздушной среды городских территорий особенно актуальна для городов-курортов, каковыми является большинство населенных пунктов региона Кавказских Минеральных Вод. Наибольший вред здоровью людей и окружающей среде наносят пылевые частицы мелких фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} . Для определения влияния близости автодорог и рельефа местности на концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе проведены экспериментальные исследования, методика проведения которых и полученные результаты приведены в настоящей статье.

Ключевые слова: запыленность атмосферного воздуха, мелкодисперсная пыль, $PM_{2,5}$ и PM_{10} , экология городов Кавказских Минеральных Вод, экологическая безопасность.

При определении влияния автодорог на характеристики запыленности атмосферного воздуха прилегающих городских территорий большое значение имеет рельеф местности. Для города Пятигорска, как и для большинства населенных пунктов региона Кавказских Минеральных Вод (КМВ), характерен горный рельеф с большими перепадами нулевых строительных отметок близко расположенных зданий и сооружений. Таким образом, характеристики запыленности атмосферного воздуха могут сильно отличаться даже у относительно близких на плане замерных точек. Поэтому, исходя из условий исследуемой территории, помимо удаленности замерной точки от близкорасположенной автодороги необходимо также учитывать разность абсолютных отметок.

Как отмечено в ряде исследований [1—6], значимое влияние автомобильного транспорта на запыленность воздушной среды, как правило, ограничивается расстоянием менее 100 м. Дальнейшему распространению пылевых частиц препятствует гравитационное оседание крупных фракций, а также диффузное рассеивание более мелких частиц в атмосферном воздухе. Поэтому на предварительном этапе на основании ряда оценочных замеров и анализа данных предыдущих исследований [7—11] расстояния, принятые для проведения экспериментальных исследований, лежат в диапазоне 10...90 м.

Разность отметок дорожного полотна и площадок, на которых расположены замерные точки, может быть как положительной, так и отрицательной величиной. Очевидно, что расположение площадки ниже уровня дорожного полотна оказывает отрицательное влияние на запыленность в частности и на гигиенические условия вообще. Особенно данный эффект выражен при

небольших расстояниях от автодороги. В условиях городской застройки с ярко выраженным горным рельефом местности прохождение дорог на уровне верхних этажей малоэтажных зданий зачастую является неизбежным. Исходя из анализа ряда источников [7, 9, 10, 12] и опираясь на предварительные серии замеров, диапазон варьирования разности отметок принят равным $-2...5$ м. Меньшие значения, очевидно, не позволяют получить приемлемых для детских дошкольных учреждений значений, характеризующих качество воздуха, ввиду неизбежного гравитационного осаждения пылевых частиц и выхлопных газов. Превышения более 5 м также не рассматриваются, т. к. влияние непосредственно автомобильного транспорта при этом существенно снижается и наиболее значимым фактором становятся метеорологические условия.

Еще одним важным фактором, оказывающим влияние на запыленность атмосферного воздуха, является его подвижность [6, 10]. Продолжительные наблюдения и предварительные замеры показывают, что значимое влияние на пылевую обстановку в условиях проведения замеров оказывает, в основном, скорость ветра, а его направление практически не влияет на исследуемые величины. Это обстоятельство объясняется двумя причинами.

Во-первых, в условиях сочетания горного рельефа и плотной городской застройки независимо от направления ветра вблизи зданий и сооружения создаются зоны турбулентности, что способствует перемешиванию пылевых частиц с воздушными массами, таким образом создавая условия для повышения запыленности. Данный эффект особенно ярко выражен при плотной городской застройке.

Второй причиной является относительное постоянство сезонных направлений ветров в регионе КМВ [1, 2, 5, 9]. Исследования запыленности атмосферного воздуха проводились в теплый период года, это обусловлено многократным снижением общего количества пылевых частиц в холодный и переходный периоды [1, 4, 9] из-за осадков и наличия снежного покрова. Таким образом, для условий исследуемого региона характеристики подвижности воздуха можно корректно учесть одним фактором — скоростью ветра.

Как было отмечено ранее, характеристики запыленности атмосферного воздуха применительно к эколого-гигиеническим задачам нельзя сводить лишь к общей концентрации пылевых частиц в атмосферном воздухе. Первостепенное значение в таких задачах имеет определение крупности пылевых частиц, в частности мелких фракций, оказывающих особенно сильное влияние на состояние окружающей среды и здоровье человека [2, 6, 8, 10, 13—15]. Поэтому помимо общей концентрации пылевых частиц целесообразно определить также доли концентрации пылевых частиц PM_{10} , $PM_{2,5}$ соответственно современным стандартам, действующим в области охраны окружающей среды.

Таким образом, в качестве измеряемых величин (функций отклика) выбраны: C — концентрация пылевых частиц в воздухе, $мг/м^3$; PM_{10} — концентрация пылевых частиц размером 10 мкм и менее, $мг/м^3$; $PM_{2,5}$ — концентрация пылевых частиц размером 2,5 мкм и менее, $мг/м^3$.

Мгновенные значения концентраций пылевых частиц в воздухе могут сильно отличаться от средних и медианных значений по целому ряду причин,

таких как: проезд транспорта с пылящим грузом, внезапный резкий порыв ветра, атмосферные завихрения или скоротечные осадки и т. д. Поэтому для получения статистически достоверной картины в качестве искомых значений приняты значения концентраций частиц соответствующих фракций, осредненные за 9-часовой период, примерно соответствующий рабочему дню и времени работы дошкольных учебных заведений. Частота проведения замеров, принятая на стадии планирования на основании предварительных оценок, составила 6 измерений в час, проводимых с интервалом в 10 минут. Такой подход позволил исключить влияние случайных факторов, что подтверждено оценкой воспроизводимости исследования.

В качестве факторов, оказывающих определяющее влияние на исследуемые величины, на этапе планирования эксперимента приняты: L — расстояние от замерной точки до осевой линии автомобильной дороги, м; h — разность отметок (превышение) полотна дороги и площадки, на которой находится замерная точка, м; v — скорость ветра, м/с.

Очевидно, что один из факторов, принятых для проведения исследований, а именно скорость ветра, является неуправляемым, что создает определенные трудности при реализации экспериментального плана. Однако наличие автоматических метеостанций при относительно постоянных сезонных направлениях и силах ветров в регионе в летний период года позволило существенно упростить планирование. Поскольку мониторинг запыленности проводился практически ежедневно в течение всего периода наблюдений, подбор нужного параметра осуществлялся путем выбора данных, полученных в те периоды, когда значение скорости ветра, осредненное по времени проведения замеров (9-часовому дневному периоду), достаточно точно соответствовало экспериментальному плану. Следует отметить, что суточные колебания данной величины (без учета мгновенных отклонений, вызванных турбулентностью и слабо влияющих на результаты замеров) невелики, что также положительно повлияло на воспроизводимость результатов и достоверность исследования.

В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени с учетом значимости вычисленных коэффициентов получены следующие уравнения регрессии:

$$C_{PM_{2,5}} = 0,0490 - 10^{-6} L^2 + 8,8 \cdot 10^{-5} h^2 - 1,31 \cdot 10^{-4} v^2 - 3,98 \cdot 10^{-4} L - 2,076 \cdot 10^{-3} h + 4,313 \cdot 10^{-4} v - 10^{-5} Lh + 8,90 \cdot 10^{-5} v + 2,10 \cdot 10^{-5} Lv, \quad (1)$$

$$C_{PM_{10}} = 0,0517 + 1,12 \cdot 10^{-4} h^2 - 4,07 \cdot 10^{-4} v^2 - 5,55 \cdot 10^{-4} L - 1,821 \cdot 10^{-3} h + 7,749 \cdot 10^{-3} v - 1,2 \cdot 10^{-5} Lh + 1,93 \cdot 10^{-4} v + 3,10 \cdot 10^{-5} Lv. \quad (2)$$

Значения дисперсии аппроксимации эмпирических результатов полиномами второй степени составляют соответственно $R^2 = 0,949$ и $0,936$.

На рисунках 1—3 в графическом виде представлены результаты определения концентрации пылевых частиц фракции $PM_{2,5}$ на территории детских дошкольных учреждений. На рисунках 4—6 представлены аналогичные результаты определения концентрации пылевых частиц фракции PM_{10} .

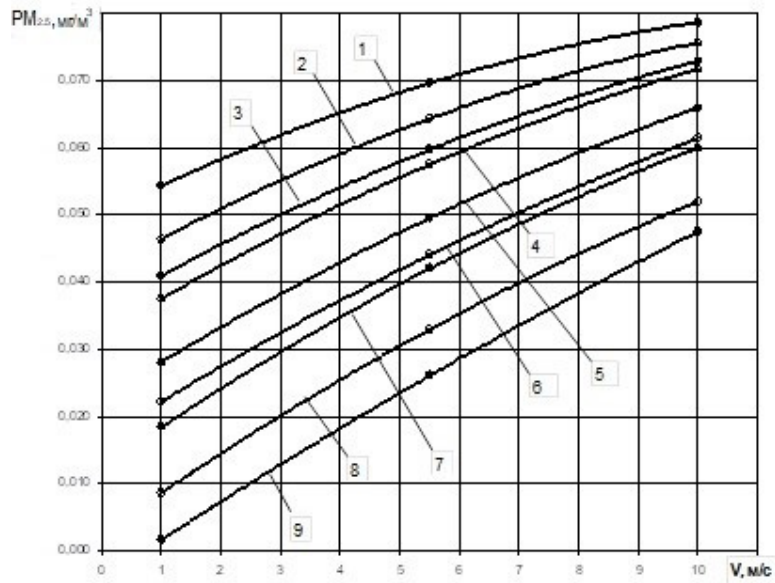


Рис. 1. Зависимость концентрации пылевых частиц фракции $PM_{2,5}$ на территории детских дошкольных учреждений от скорости ветра $C_{PM_{2,5}}(v)$: 1 — $L = 10$ м, $h = -2$ м; 2 — $L = 10$ м, $h = 1,5$ м; 3 — $L = 10$ м, $h = 5$ м; 4 — $L = 10$ м, $h = -2$ м; 5 — $L = 10$ м, $h = 1,5$ м; 6 — $L = 10$ м, $h = 5$ м; 7 — $L = 10$ м, $h = -2$ м; 8 — $L = 10$ м, $h = 1,5$ м; 9 — $L = 10$ м, $h = 5$ м

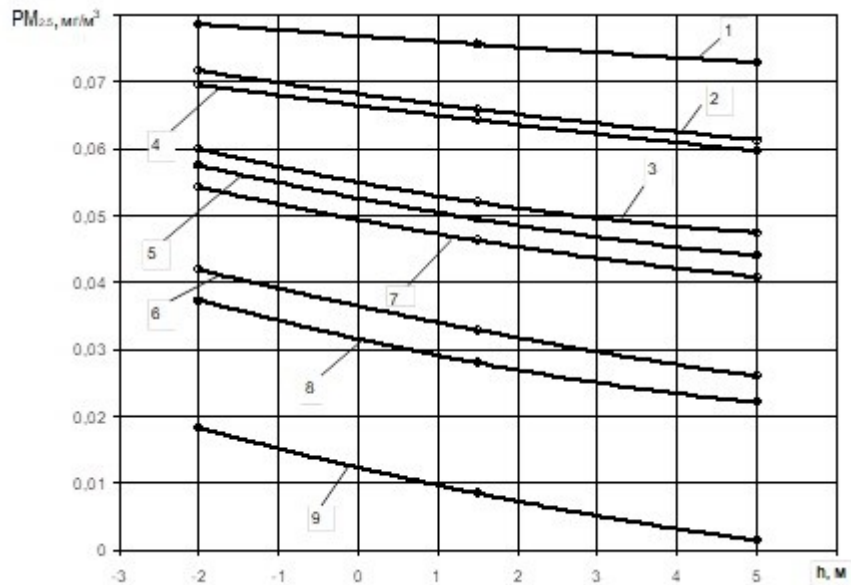


Рис. 2. Зависимость концентрации пылевых частиц фракции $PM_{2,5}$ на территории детских дошкольных учреждений от разности отметок поверхностей дорожного полотна и места проведения замеров $C_{PM_{2,5}}(h)$: 1 — $v = 10$ м/с, $L = 10$ м; 2 — $v = 10$ м/с, $L = 50$ м; 3 — $v = 10$ м/с, $L = 90$ м; 4 — $v = 5,5$ м/с, $L = 10$ м; 5 — $v = 5,5$ м/с, $L = 50$ м; 6 — $v = 5,5$ м/с, $L = 90$ м; 7 — $v = 1$ м/с, $L = 10$ м; 8 — $v = 1$ м/с, $L = 50$ м; 9 — $v = 1$ м/с, $L = 90$ м

Как следует из данных, приведенных на рис. 1, зависимость концентрации частиц фракции $PM_{2,5}$ во всех замерных точках от скорости ветра является возрастающей во всем диапазоне экспериментальных значений. Такой же характер имеет аналогичная зависимость, полученная для фракции пылевых частиц PM_{10} . Помимо очевидного вывода о переносе пылевых частиц воздушным потоком, данный факт говорит о существенном влиянии автотранспорта на пылевую обстановку обследованных территорий.

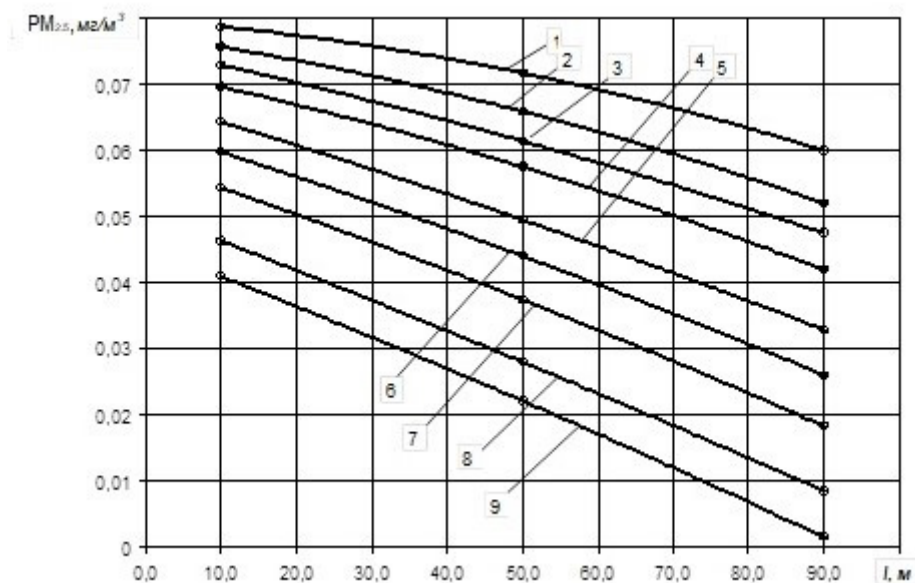


Рис. 3. Зависимость концентрации пылевых частиц фракции $PM_{2,5}$ на территории детских дошкольных учреждений от расстояния между осевой линией дорожного полотна и местом проведения замеров $C_{PM_{2,5}}(L)$: 1 — $h = -2$ м, $v = 10$ м/с; 2 — $h = 1,5$ м, $v = 10$ м/с; 3 — $h = 5$ м, $v = 10$ м/с; 4 — $h = -2$ м, $v = 5,5$ м/с; 5 — $h = 1,5$ м, $v = 5,5$ м/с; 6 — $h = 5$ м, $v = 5,5$ м/с; 7 — $h = -2$ м, $v = 1$ м/с; 8 — $h = 1,5$ м, $v = 1$ м/с; 9 — $h = 5$ м, $v = 1$ м/с

Совершенно очевидно, что в рассматриваемом случае пылевые частицы искомых фракций, фиксируемых прибором, увлекаются воздушным потоком с какой-либо поверхности. В противном случае (частицы мелких фракций витают в воздухе в относительно постоянных концентрациях) изменение скорости движения воздуха не оказывало бы столь существенного влияния на концентрации исследуемых фракций.

Данный вывод подтверждается данными, представленными на рис. 3 и 6, характеризующими зависимость концентраций соответствующих фракций пылевых частиц от расстояния между автодорогой и замерной точкой. Как следует из полученных данных, обе зависимости имеют строго убывающий характер во всем диапазоне варьирования факторов и характеризуются большими коэффициентами корреляции, свидетельствующими о сильном влиянии фактора на исследуемую величину.

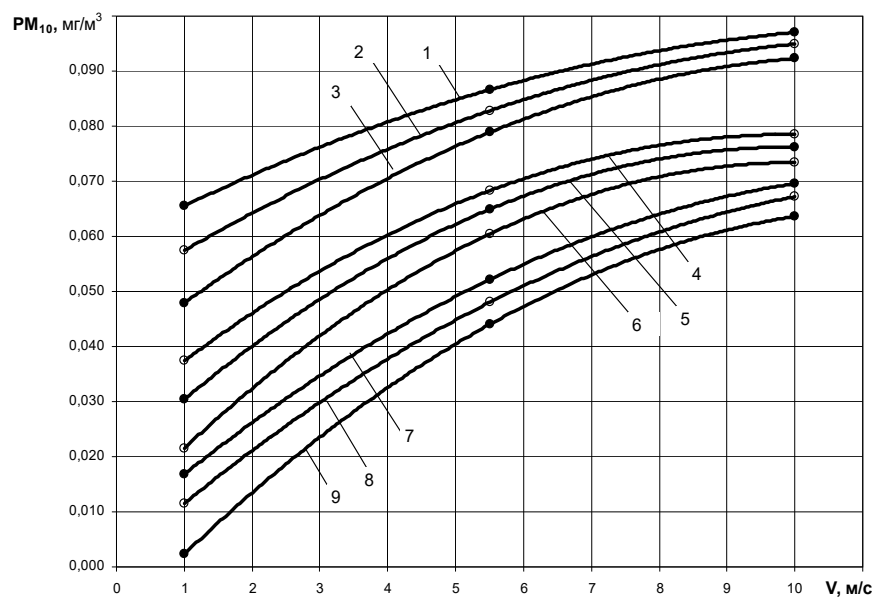


Рис. 4. Зависимость концентрации пылевых частиц фракции PM_{10} на территории детских дошкольных учреждений от скорости ветра $C_{PM_{2,5}}(v)$: 1 — $L = 10$ м, $h = -2$ м; 2 — $L = 10$ м, $h = 1,5$ м; 3 — $L = 10$ м, $h = 5$ м; 4 — $L = 10$ м, $h = -2$ м; 5 — $L = 10$ м, $h = 1,5$ м; 6 — $L = 10$ м, $h = 5$ м; 7 — $L = 10$ м, $h = -2$ м; 8 — $L = 10$ м, $h = 1,5$ м; 9 — $L = 10$ м, $h = 5$ м

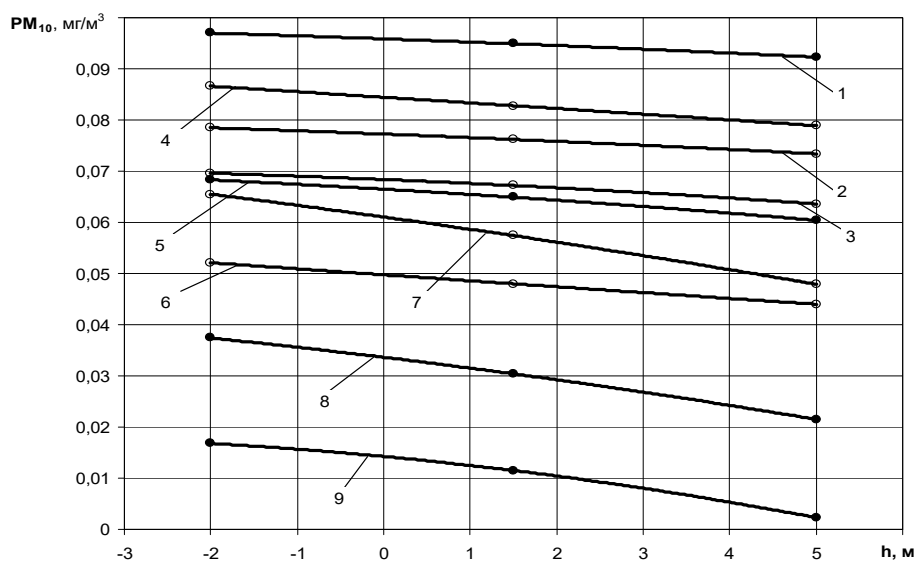


Рис. 5. Зависимость концентрации пылевых частиц фракции PM_{10} на территории детских дошкольных учреждений от разности отметок поверхностей дорожного полотна и места проведения замеров $C_{PM_{2,5}}(h)$: 1 — $v = 10$ м/с, $L = 10$ м; 2 — $v = 10$ м/с, $L = 50$ м; 3 — $v = 10$ м/с, $L = 90$ м; 4 — $v = 5,5$ м/с, $L = 10$ м; 5 — $v = 5,5$ м/с, $L = 50$ м; 6 — $v = 5,5$ м/с, $L = 90$ м; 7 — $v = 1$ м/с, $L = 10$ м; 8 — $v = 1$ м/с, $L = 50$ м; 9 — $v = 1$ м/с, $L = 90$ м

Таким образом, по результатам совместного анализа влияния скоростей ветра и удаления замерной точки от дорожного полотна можно сделать статистически подтверждаемый вывод о преобладающем влиянии близкорасположенных автодорог на концентрации пылевых частиц фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ в замерных точках.

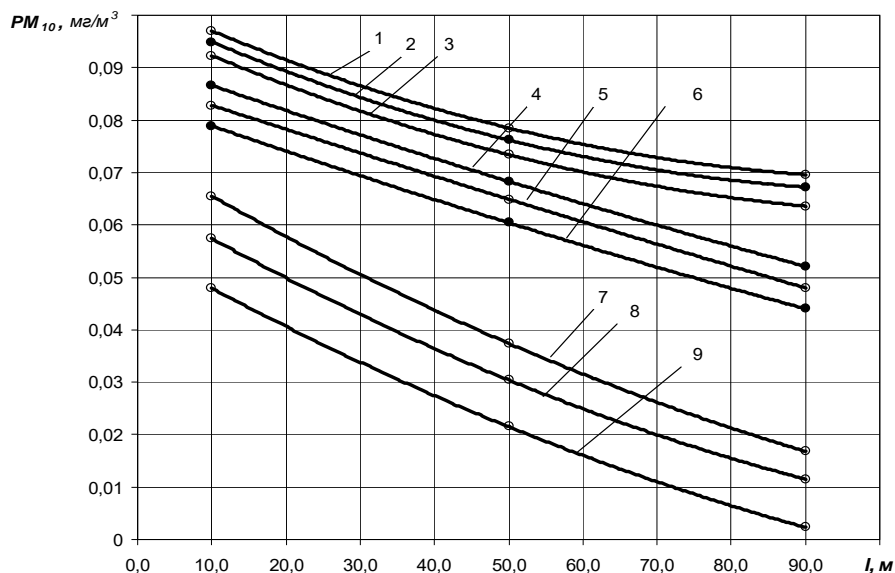


Рис. 6. Зависимость концентрации пылевых частиц фракции PM_{10} на территории детских дошкольных учреждений от расстояния между осевой линией дорожного полотна и местом проведения замеров $C_{PM_{2,5}}(L)$: 1 — $h = -2$ м, $v = 10$ м/с; 2 — $h = 1,5$ м, $v = 10$ м/с; 3 — $h = 5$ м, $v = 10$ м/с; 4 — $h = -2$ м, $v = 5,5$ м/с; 5 — $h = 1,5$ м, $v = 5,5$ м/с; 6 — $h = 5$ м, $v = 5,5$ м/с; 7 — $h = -2$ м, $v = 1$ м/с; 8 — $h = 1,5$ м, $v = 1$ м/с; 9 — $h = 5$ м, $v = 1$ м/с

Объяснением полученному эмпирическими и подтвержденному статистическими методами выводу, по нашему мнению, являются следующие факты. Автотранспорт не только способен поднимать пыль с поверхности автодорог и обочин посредством создаваемых им завихрений воздуха, но также является источником образования пыли. В процессе движения происходит фрикционный износ деталей ходовой части автомобиля (шин, деталей тормозных механизмов и т. д.), кроме того, в выхлопе автомобильных двигателей содержатся частицы сажи. Некоторый вклад в ряде случаев может вносить пылящий груз. И несмотря на то, что общие величины пылепоступлений от автотранспорта в большинстве случаев невелики, в условиях плотной городской застройки и сложного рельефа местности они, как следует из полученных данных, могут приводить к превышению нормативных концентраций пылевых частиц в атмосферном воздухе. Особенно наглядно данный эффект проявляется для мелких фракций, которые характеризуются медленным осаждением.

Отдельного внимания заслуживают зависимости концентрации пылевых частиц фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ от разности отметок замерных точек и дорожного полотна. Как и в предыдущих случаях, характер зависимостей для обеих

фракций носит одинаковый характер. Обе зависимости являются убывающими во всем диапазоне варьирования фактора, что, очевидно, объясняется воздействием гравитационных сил. В этой связи логична более яркая выраженность зависимости для более крупной фракции PM_{10} . Также следует отметить возрастающую роль разности высот по мере удаления замерной точки от автодороги, которая в обоих случаях также объясняется гравитационным оседанием и рассеиванием.

Почти во всех случаях расположения точки замера ниже уровня дорожного полотна (за исключением точек, находящихся на расстоянии 90 м) наблюдается превышение норматива по концентрации обеих фракций, что позволяет сделать вывод о нежелательности строительства в местах замеров зданий санаторно-курортного, жилого и общественного назначения.

Аналогичные выводы, полученные на основании обобщения экспериментального материала, можно сделать для площадок (а также существующих зданий либо территорий, предназначенных для строительства), расположенных ближе 30...40 м от автодорог, ввиду практически постоянного превышения концентраций пылевых частиц обеих фракций.

Следует также отметить, что приведенные эмпирические зависимости, полученные при помощи статистической обработки результатов натурных измерений, имеют область применения, естественно ограниченную территорией населенного пункта, в котором производились измерения (г. Пятигорск). С определенными допущениями они могут быть использованы применительно к ряду городов КМВ с аналогичными метеорологическими условиями, рельефом местности и характером застройки и планировки. Основное предназначение данных эмпирических уравнений состоит в экспресс-оценке условий запыленности при предварительном планировании мест строительства (либо размещения в существующих строениях и площадках) детских дошкольных учреждений и других объектов образовательного, общественного и рекреационного назначения. При этом после предварительной оценки параметров пылевого загрязнения по предлагаемой методике в выбранной местности рекомендуется провести дополнительные исследования.

Выводы

1. Для определения влияния автомобильных дорог на концентрации пылевых частиц фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} в воздухе населенных пунктов КМВ спланированы и проведены практические исследования.

2. Исследование проводилось в летний период, который в силу ряда факторов характеризуется наибольшей запыленностью атмосферного воздуха, а также наиболее удобен для проведения замеров ввиду относительно стабильных метеорологических условий.

3. В результате статистической обработки натурных данных получены достоверные зависимости, позволяющие охарактеризовать концентрации пылевых частиц фракций $PM_{2,5}$ и PM_{10} в воздухе населенных пунктов КМВ в летний период.

4. Установлено наличие статистически подтверждаемого влияния скоростей ветра и удаления замерной точки от дорожного полотна, сделан статистически подтверждаемый вывод о преобладающем влиянии близкорасположенных автодорог на концентрации пылевых частиц фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ в замерных точках.

5. Почти во всех случаях расположения точек замера ниже уровня дорожного полотна (за исключением находящихся на расстоянии 90 м) наблюдается превышение норматива по концентрации обеих пылевых фракций, что говорит о нежелательности строительства зданий санаторно-курортного назначения, а также жилых и общественных зданий.

6. Аналогичные выводы, полученные на основании обобщения экспериментального материала, можно сделать для площадок (а также существующих зданий либо территорий, предназначенных для строительства), расположенных ближе 30...40 м от автодорог, ввиду практически постоянного превышения концентраций пылевых частиц обеих фракций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шебзухова Т. А., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Вартумян А. А. Экологическая безопасность инженерной инфраструктуры городов и рекреационных территорий Северного Кавказа : монография. Пятигорск, 2016. 144 с.
2. Азаров В. Н., Сидякин П. А., Лопатина Т. Н., Николенко Д. А. Техногенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на социально-экологическое благополучие городов-курортов Кавказских Минеральных Вод // Социология города. 2014. № 1. С. 28—37.
3. Сидякин П. А., Щитов Д. В., Эмба С. И. Необходимость комплексного подхода к изучению экологичности и гигиеничности строительных материалов Ставропольского края // Перспективы развития строительного комплекса. 2012. Т. 1. С. 48—50.
4. Сидякин П. А., Белая Е. Н. Воздействие транспортной инфраструктуры на экологическое состояние городов-курортов Кавказских Минеральных Вод // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 1(17). С. 61—73.
5. Организация мониторинга содержания мелкодисперсных частиц пыли в воздушной среде городов-курортов / П. А. Сидякин, Т. Н. Лопатина, Е. А. Калюжина, А. В. Нестерчук, Н. В. Вахилевич // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1—1. С. 214.
6. Азаров В. Н., Калюжина Е. А. Об организации мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ на примере г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25(44). С. 398—401.
7. Основные задачи комплексного подхода по изучению экологического состояния объектов городского хозяйства городов-курортов Кавказских Минеральных Вод / П. А. Сидякин, С. А. Лебедева, С. И. Эмба, Н. А. Фоменко, Т. Н. Лопатина // Актуальные проблемы гидросферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация) : сб. докладов. Кисловодск : РИА КМВ, 2015. С. 374—389.
8. Сидякин П. А., Щитов Д. В., Магомадов И. З. Разработка и оптимизация мобильной системы пылеулавливания, предназначенной для обеспыливания выбросов при проведении восстановительных работ в строительстве // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 159.
9. Сидякин П. А., Мкртчян А. А., Щитова Т. В. Влияние различных факторов на безопасность зданий и сооружений городов Кавказских Минеральных Вод // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2017. № 4—1(27). С. 158—161.
10. Aerodynamic characteristics of dust in the emissions into the atmosphere and working zone of construction enterprises / V. N. Azarov, V. P. Batmanov, A. B. Strelyaeva, V. V. Lupinogin, A. I. Evtushenko // International Review of Civil Engineering. 2016. Vol. 7. No. 5. Pp. 132—136.
11. Koshkarev S., Azarov V., Azarov D. The decreasing dust emissions of aspiration schemes applying a fluidized granular particulate material bed separator at the building construction factories // 15th International scientific conference "Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development": Procedia Engineering. Saint Petersburg, 2016. Pp. 1070—1079.
12. Azarov V., Manzhilevskaya S., Petrenko L. The pollution prevention during the civil construction // MATEC Web of Conferences. 2018. P. 040
13. Совершенствование систем обеспыливания на предприятиях деревообрабатывающей отрасли / П. А. Сидякин, С. И. Эмба, Е. А. Семенова, Д. П. Боровков, Н. А. Маринин // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 11(133). С. 67—70.

14. Обеспечение безопасности воздушной среды помещений по производству деревянных строительных конструкций / В. Н. Азаров, П. А. Сидякин, С. И. Эмба, Е. А. Семенова, Д. П. Боровков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013. Вып. 2(27). С. 35.

15. *Menzelintseva N. V., Azarov V. N., Karapuzova N. Yu., Redvan A. M.* Main trends of dust conditions normalizing at cement manufacturing plants // *International Review of Civil Engineering*. 2015. Vol. 5. No. 5. Pp. 145—150.

© Боровков Д. П., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Логачева Е. Н., Шевцов Е. И., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Экспериментальные исследования влияния автомобильных дорог на характеристики запыленности атмосферного воздуха городов региона Кавказских Минеральных Вод / Д. П. Боровков, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, Е. Н. Логачева, Е. И. Шевцов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 67—77.

Об авторах:

Боровков Дмитрий Павлович — д-р техн. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Сидякин Павел Алексеевич — канд. техн. наук, доц., проф. каф. строительства, Пятигорский институт — филиал Северо-Кавказского федерального университета. Российская Федерация, 357500, г. Пятигорск, ул. 40 лет Октября, 56; sidyakin_74@mail.ru

Щитов Дмитрий Викторович — канд. техн. наук, доц., зав. каф. строительства, Пятигорский институт — филиал Северо-Кавказского федерального университета. Российская Федерация, 357500, г. Пятигорск, ул. 40 лет Октября, 56; pgtugsh@mail.ru

Логачева Екатерина Николаевна — старший преподаватель каф. строительства, Пятигорский институт — филиал Северо-Кавказского федерального университета. Российская Федерация, 357500, г. Пятигорск, ул. 40 лет Октября, 56

Шевцов Егор Игоревич — ООО «НВЭК-ПБ». Российская Федерация, 400087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, 67

Dmitrii P. Borovkov^a, Pavel A. Sidiyakin^b, Dmitry V. Shchitov^b, Ekaterina N. Logacheva^b, Egor I. Shvetsov^c

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Pyatigorsk Institute — branch of North-Caucasus Federal University*

^c *LLC “NVEK-PB,,*

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF HIGHWAYS ON THE CHARACTERISTICS DUSTINESS OF ATMOSPHERIC AIR CITIES OF THE CAUCASIAN MINERAL WATERS REGION

The proximity of highways contributes to an increase in dustiness of the air in the surrounding areas and in buildings. The problem of dustiness of the air environment of urban areas is especially relevant for resort cities, which are the majority of settlements in the Caucasus Mineral Waters region. The greatest harm to human health and the environment is caused by dust particles of small fractions PM_{2,5} and PM₁₀. To determine the influence of the proximity of highways and terrain on the concentration of fine particles in the atmospheric air, experimental studies were carried out, the methodology of which and the results obtained are given in this article.

К е у w o r d s: dustiness of atmospheric air, fine dust, PM_{2,5} and PM₁₀, ecology of the cities of the Caucasian Mineral Waters, environmental safety.

For citation:

Borovkov D. P., Sidyakin P. A., Shchitov D. V., Logacheva E. N., Shvetsov E. I. [Experimental studies of the influence of highways on the characteristics dustiness of atmospheric air cities of the Caucasian Mineral Waters region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 67—77.

About authors:

Dmitrii P. Borovkov — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Pavel A. Sidyakin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Pyatigorsk Institute — branch of North-Caucasus Federal University. 40 years of October st., Pyatigorsk, 357500, Russian Federation; sidyakin_74@mail.ru

Dmitry V. Shchitov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Pyatigorsk Institute — branch of North-Caucasus Federal University. 40 years of October st., Pyatigorsk, 357500, Russian Federation; pgtugsh@mail.ru

Ekaterina N. Logacheva — Senior Lecturer, Pyatigorsk Institute — branch of North-Caucasus Federal University. 40 years of October st., Pyatigorsk, 357500, Russian Federation

Egor I. Shvetsov — LLC "NVEK-PB,, 67, Novorossiiskaya st, Volgograd, 400087, Russian Federation

УДК 625.8

Е. А. Шишкин

Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ)

ВЫБОР РЕЖИМОВ РАБОТЫ УПЛОТНИТЕЛЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

От правильности назначения режимов работы уплотняющей техники зависит качество получаемого покрытия. Важно установить температурные границы эффективной укатки слоя заданным дорожным катком. Приведены полученные зависимости температурных границ эффективной работы катка, на основе которых спроектирован алгоритм выбора рациональных режимов работы уплотняющей техники. Алгоритм учитывает стоимость выполнения работ по уплотнению асфальтобетонного слоя и может быть использован для формирования оптимального комплекта дорожных катков в заданных условиях производства работ.

Ключевые слова: дорожный каток, асфальтобетонная смесь, валец, укатка, прочность, линейное давление, температура, алгоритм.

Введение

В Российской Федерации темпы дорожного строительства непрерывно возрастают. При выборе верхнего конструктивного слоя предпочтение отдается асфальтобетонной смеси, т. к. она характеризуется значительным сроком эксплуатации и высокой ремонтпригодностью [1, 2]. Уложенный слой асфальтобетонной смеси необходимо уплотнять для обеспечения требуемой плотности и ровности покрытия. Для осуществления операции уплотнения слоя уложенной смеси используют дорожные катки [3]. Производитель работ формирует комплект дорожных катков из имеющихся в наличии моделей [4]. Однако различные модели катков эффективны для разных температурных диапазонов уплотняемого слоя смеси с учетом внешних факторов производства работ [5—7].

Эффективность уплотнения различными моделями дорожных катков оценивается по величине остаточных деформаций слоя смеси после каждого прохода машины. Если каток обеспечивает развитие наибольших остаточных деформаций, следовательно, он эффективен в заданных условиях производства работ. При этом важно, чтобы давление вальца катка на материал не приводило к разрушению последнего [8]. Таким образом, решаемую в статье задачу нахождения эффективных режимов работы дорожных катков можно считать актуальной.

Метод исследования

Максимальное контактное давление под вальцом катка σ_k характеризует уплотняющую способность машины. Если максимальное контактное давление оказывается выше предела прочности слоя смеси $\sigma_{пр}$, то происходит разрушение слоя [9]. Если же величина максимального контактного давления оказывается ниже некоторой границы, уплотнение катком будет неэффективным, т. к. в таком случае остаточная деформация минимальна. Чтобы обеспечить эффективность операции уплотнения, максимальное контактное давление вальца σ_k должно находиться в границах следующего диапазона [10, 11]:

$$0,9\sigma_{\text{пр}} \leq \sigma_{\text{к}} \leq \sigma_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ — предел прочности смеси, МПа.

Результаты экспериментов [12, 13] по установлению значений предела прочности асфальтобетонных смесей различных типов приведены на рис. 1.

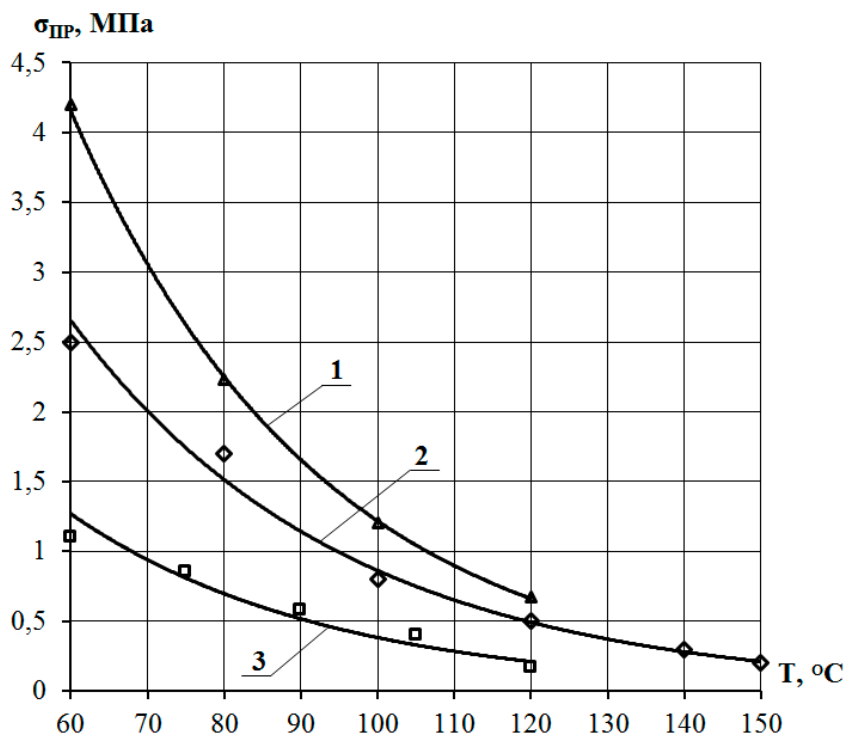


Рис. 1. Предел прочности асфальтобетонной смеси как функция ее температуры: 1 — смесь типа А; 2 — смесь типа Б; 3 — смесь типа В

На основе корреляционно-регрессионного анализа значений предела прочности для различных типов асфальтобетонной смеси установлена взаимосвязь предела прочности смеси со свойствами последней, характеризуемая высокой достоверностью

$$\sigma_{\text{пр}} = ae^{-bT}, \quad (2)$$

где a , b — эмпирические коэффициенты, зависящие от характеристик асфальтобетонной смеси; T — температура слоя смеси, °C.

Графическая интерпретация условия (1) приведена на рис. 2. Нижняя и верхняя кривые соответствуют границам эффективного уплотнения смеси катком с заданным силовым воздействием на материал. Кривые $0,9\sigma_{\text{пр}}$ и $\sigma_{\text{пр}}$ могут быть получены из уравнения (2) после проведения соответствующих экспериментов (в данной статье методика проведения экспериментальных работ не рассматривается).

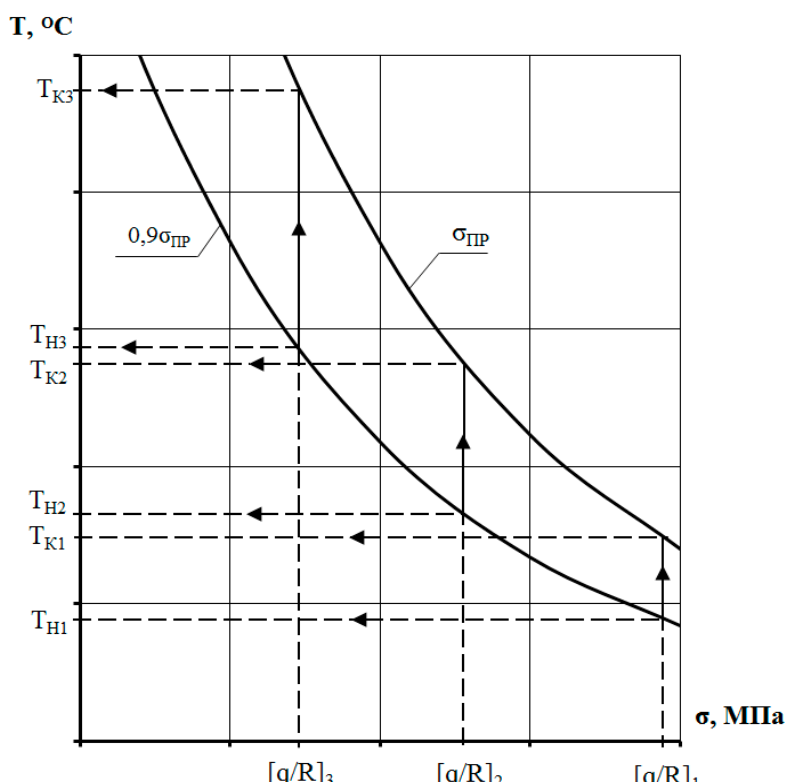


Рис. 2. Диаграмма температурных диапазонов эффективной укатки слоя асфальтобетонной смеси

Так как вес катка не позволяет адекватно оценить силовое воздействие на уплотняемый материал, в [4] предложен силовой параметр, равный отношению линейного давления вальца q к его радиусу R . На основе уравнения (2) получим зависимости, позволяющие определять температуры T_{ni} и T_{ki} слоя смеси, при которых необходимо начинать и завершать уплотнение i -м катком с параметром $[q/R]_i$, с точки зрения эффективности укатки:

$$T_{ni} = \frac{1}{b} \ln \frac{0,9a}{[q/R]_i}; \quad T_{ki} = \frac{1}{b} \ln \frac{a}{[q/R]_i}, \quad (3)$$

где i — номер катка в комплекте (номер этапа уплотнения).

Таким образом могут быть установлены температурные диапазоны эффективной укатки для предварительного (T_{n1}/T_{k1}), основного (T_{n2}/T_{k2}) и заключительного (T_{n3}/T_{k3}) этапов уплотнения. Рассчитанные температурные границы позволяют определить время работы i -го дорожного катка из комплекта [14—16]:

$$\Delta t_i = \frac{1}{m} \ln \frac{T_{ni} - T_b}{T_{ki} - T_b}, \quad (4)$$

где $T_{ш}$ — температура начала уплотнения слоя i -м катком, °С; $T_{ки}$ — температура окончания уплотнения слоя i -м катком, °С; $T_{в}$ — температура окружающей среды, °С; m — интенсивность теплоотдачи уплотняемого слоя, 1/ч. Интенсивность теплоотдачи уплотняемого слоя определяется по формуле [14]

$$m = \frac{\alpha}{5\rho ch}, \quad (5)$$

где α — коэффициент теплоотдачи слоя, ккал/м·ч·°С; c — теплоемкость слоя; ρ — плотность слоя, г/см³; h — толщина слоя, см.

Общее время уплотнения участка покрытия комплектом катков влияет на себестоимость работ, которая принята в качестве критерия оценки эффективности работы комплекта. Задача состоит в минимизации затрат на выполнение работ по уплотнению захватки при обеспечении требуемого качества покрытия

$$C = \sum_{i=1}^3 C_i^{np} \Delta t_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

где C — себестоимость укатки захватки асфальтобетонного покрытия, руб; C_i^{np} — удельные приведенные затраты на уплотнение захватки i -м катком комплекта, руб/ч.

Под удельными приведенными затратами в данном случае подразумевается стоимость 1 ч аренды уплотнителя [17]. В результате анализа арендной стоимости катков ведущих отечественных и зарубежных производителей (рис. 3) установлена следующая зависимость

$$C_i^{np} = 61098[q/R]_i - 379,51. \quad (7)$$

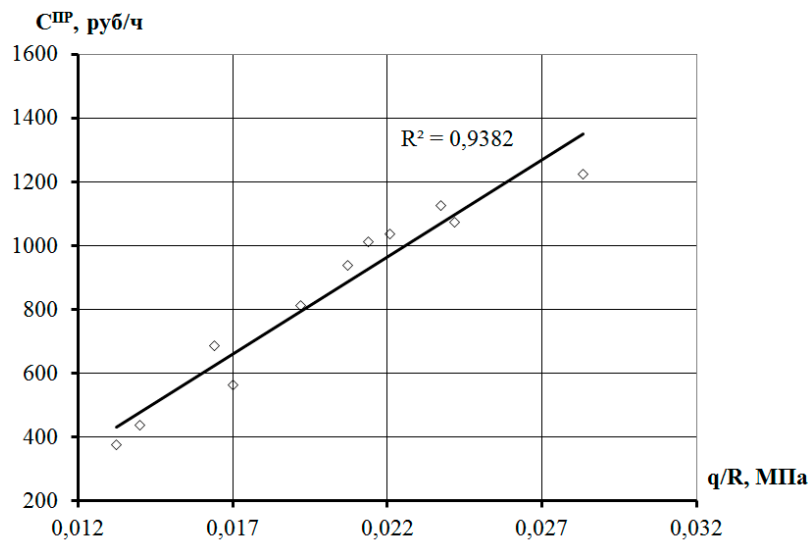


Рис. 3. Диаграмма зависимости стоимости аренды дорожного катка от отношения q/R

Подставив выражение (7) в уравнение (6), получим

$$C = \sum_{i=1}^3 (61098[q/R]_i - 379,51) \Delta t_i \rightarrow \min. \quad (8)$$

Алгоритм формирования комплекта дорожных катков, разработанный на основе описанной выше методики, приведен на рис. 4 в виде блок-схемы. Исходными данными для расчета являются физико-механические характеристики заданной асфальтобетонной смеси, а также параметры окружающей среды при производстве работ. Процесс формирования различных комплектов дорожных катков из n моделей базы данных (БД) [18], сформированной перед началом расчета, организован внутри цикла. Для каждого сформированного комплекта определяется значение себестоимости укатки захватки асфальтобетонного покрытия, которое заносится в соответствующую БД. Эффективным комплектом из множества сформированных считается тот, у которого себестоимость укатки захватки минимальна.

Представленный алгоритм выполнен в виде программы с графическим интерфейсом пользователя. При запуске программы появляется графическое окно, в котором необходимо ввести исходные данные для расчета (рис. 5), а именно: тип заданной асфальтобетонной смеси, а также параметры производства работ. Кроме этого требуется ввести конструктивные параметры моделей катков, имеющихся в наличии у производителя работ, либо моделей, планируемых к приобретению. Допускаются различные варианты ввода данных параметров — ручной ввод либо вставка из буфера заранее сформированного массива данных. Под конструктивными параметрами подразумеваются масса, приходящаяся на валец, радиус и ширина вальца.

На рисунке 5 показан вариант ввода конструктивных параметров следующих дорожных катков: SAKAI SW350, VOLVO DD85, DYNAPAC CG233HF. В данном случае программа осуществляет расчет режимов работы комплекта дорожных катков, который сформирован пользователем. Кроме этого имеется возможность формирования множества комплектов дорожных катков на основе БД введенных моделей катков с последующим выбором оптимального комплекта, обеспечивающего наибольшую эффективность выполнения операции уплотнения. Данная функция может быть использована при формировании парка уплотняющих машин дорожного предприятия, что позволит повысить его конкурентоспособность.

После нажатия кнопки «Выполнить расчет» программа выдает окно результатов расчета (рис. 6), в котором указываются температурные границы работы каждого катка сформированного комплекта.

Для каждого региона производства работ известны средние значения параметров окружающей среды, а также характерные типы используемых смесей. Поэтому результаты расчета дают возможность оценить, насколько эффективно будет применение различных моделей катков, имеющихся в наличии у предприятия или планируемых к приобретению.

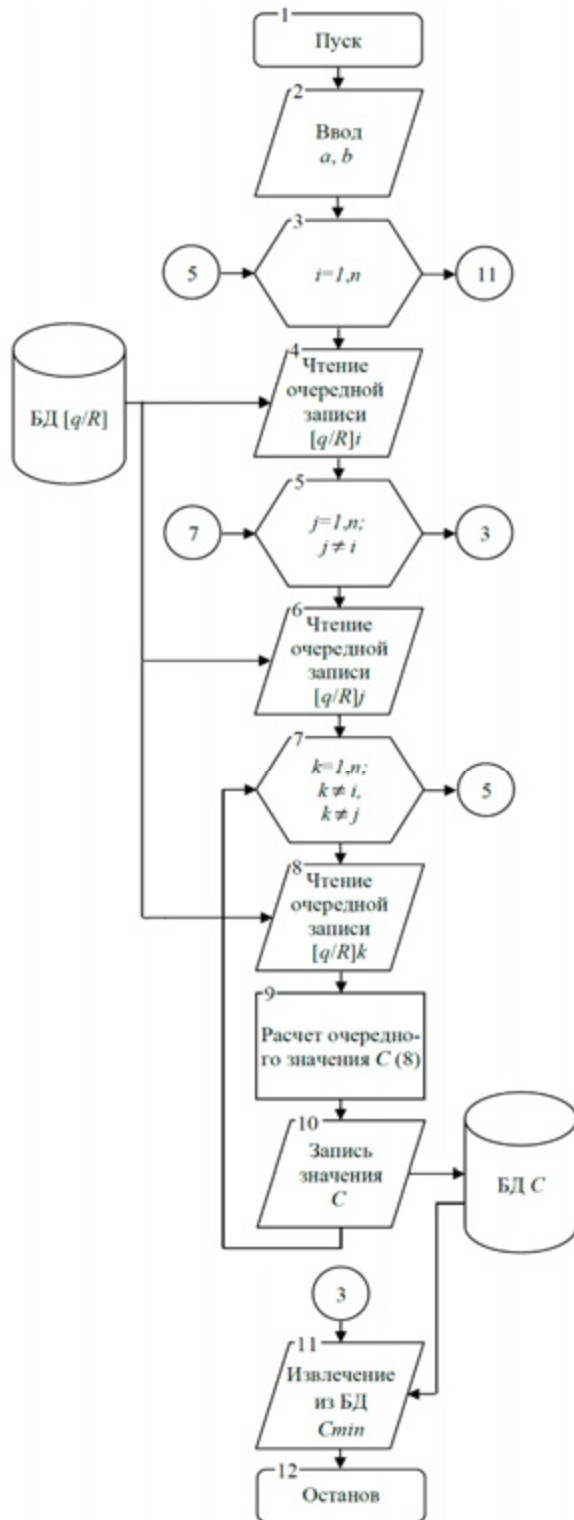


Рис. 4. Упрощенная блок-схема алгоритма выбора оптимального комплекта

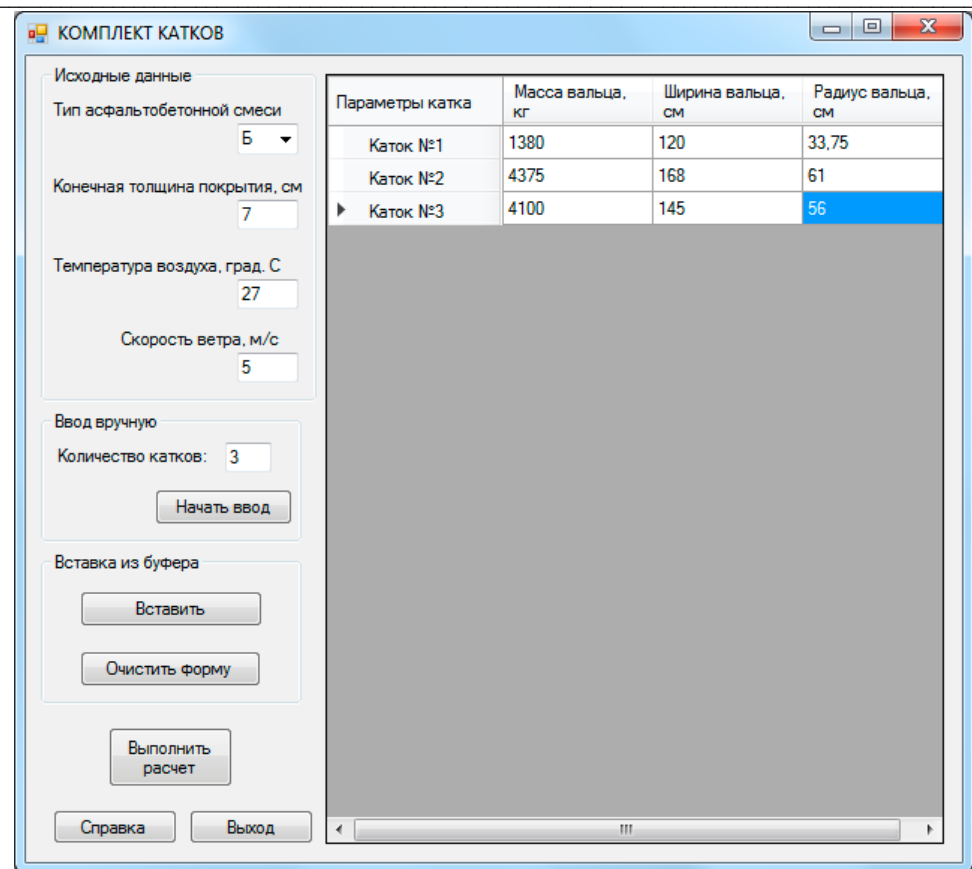


Рис. 5. Диалоговое окно ввода исходных данных программы

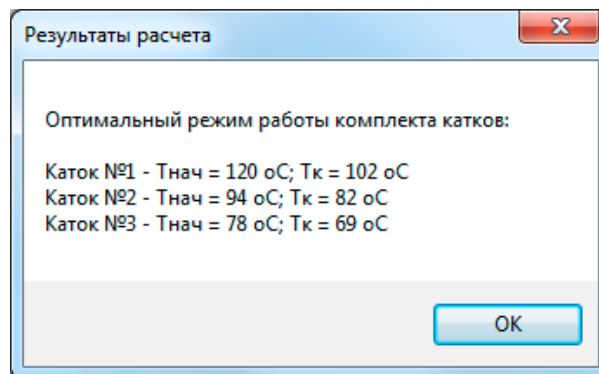


Рис. 6. Окно результатов расчета программы

Выводы

Разработанная программа протестирована в производственных условиях при строительстве автомобильной дороги по ул. Краснореченской в городе Хабаровске. С помощью программы назначались режимы работы для дорожных катков, имеющихся в наличии у производителя работ, в зависимости от изменяющихся условий окружающей среды. В результате лабораторных ис-

пытаний вырубков, извлеченных из экспериментального участка покрытия после окончания работ, получены значения коэффициента уплотнения (рис. 7), которые удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128—2013. Это свидетельствует о получении покрытия требуемого качества.

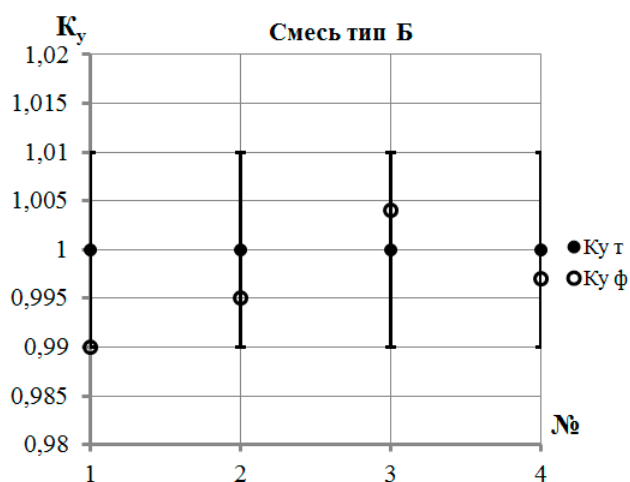


Рис. 7. Результаты лабораторных испытаний: $K_{ут}$ — требуемый коэффициент уплотнения; $K_{уф}$ — фактический коэффициент уплотнения

Программа на основе предложенного алгоритма позволяет:

- осуществлять назначение эффективных режимов работы дорожным каткам, которыми располагает производитель работ, с учетом условий окружающей среды;
- формировать парк дорожных катков по критерию эффективности выполнения операции уплотнения для заданных условий производства работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общие сведения об асфальтобетонной смеси / Е. А. Васильченко, И. С. Рязанова, А. Р. Сысоев, А. А. Солдатов, С. О. Яшин // Вестник науки и образования. 2022. № 5(125). Т. 1. С. 66—69.
2. Ермилов А. А. Вероятностная оценка уплотняемости асфальтобетона при ремонте городских дорог // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30(49). С. 313—319.
3. Марков В. И., Петров А. Н. Обоснование выбора системы катков для уплотнения асфальтобетонных слоев дорожной одежды // Resources and Technology. 2008. № 7. С. 61—63.
4. Чабуткин Е. К., Гуремнов И. С., Попов Ю. Г. Методика расчета режима работы вибрационного катка при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5(95). С. 19—24.
5. Пермяков В. Б., Беляев К. В. Влияние режимных параметров катков на интенсивность уплотнения асфальтобетонных смесей // Строительные и дорожные машины. 2007. № 1. С. 19—22.
6. Иванов В. Н., Трофимова Л. С., Линева Ф. В. Влияние параметров катков на качество уплотнения асфальтобетонных смесей в дорожных покрытиях // Механизация строительства. 2012. № 8(818). С. 11—13.
7. Алексиков С. В., Данилов И. А., Евдокименко А. О. Особенности ремонта проезжей части городских дорог горячими асфальтобетонными смесями // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 71—80.

8. *Hainin M. R., Oluwasola E. A., Brown E. R.* Density profile of hot mix asphalt layer during compaction with various types of rollers and lift thickness // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 265—277.
9. *Ahmed K., Irfan M., Ahmed S., Ahmed A.* Experimental investigation of strength and stiffness characteristics of hot mix asphalt (HMA) // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 77. Pp. 155—160.
10. *Nosov S. V.* Determination of rational contact pressure under a roller when compacting asphalt concrete mixes // *Russian journal of building construction and architecture*. 2017. Vol. 2. No. 34. Pp. 45—53.
11. *Захаренко А. В.* Уплотняющее давление вальцов дорожного катка // *Строительные и дорожные машины*. 2005. № 2. С. 24—26.
12. *Muro T., Hoshika Y.* Tractive performance and compaction effect of a road roller running on a weak sandy soil // *Journal of Terramechanics*. 1995. Vol. 32. No. 5. Pp. 245—261.
13. *Kamdem R. F., Adedeji J. A., Mostafa M. M.* A study on indirect tensile strength for the determination of resilient modulus of warm mix asphalt // *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 69. Pp. 783—790.
14. *Hayat A., Hussain A., Afridi H. F.* Determination of in-field temperature variations in fresh HMA and corresponding compaction temperatures // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 216. Pp. 84—92.
15. *Ma X., Leng Z., Wang L., Zhou P.* Effect of reclaimed asphalt pavement heating temperature on the compactability of recycled hot mix asphalt // *Materials*. 2020. Vol. 13. No. 16. P. 3621.
16. *Gong X., Liu Q., Lv Y., Chen S.* A systematic review on the strategies of reducing asphalt pavement temperature // *Case Studies in Construction Materials*. 2023. Vol. 18. URL: https://www.researchgate.net/publication/367143062_A_Systematic_Review_on_The_Strategies_Of_Reducing_Aspphalt_Pavement_Temperature.
17. *Zanina A., Lazarev Y., Radaev A.* Determination of the structure for the road construction machinery fleet on the basis of fractional linear optimization // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. Pp. 27—40.
18. *Кустарев Г. В., Баловнев В. И., Данилов Р. Г.* Особенности формирования программного продукта выбора вибрационных катков // *Строительные и дорожные машины*. 2017. № 6. С. 36—41.

© Шишкин Е. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Шишкин Е. А. Выбор режимов работы уплотнителей асфальтобетонных смесей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 78—87.

Об авторе:

Шишкин Евгений Алексеевич — канд. техн. наук, доц. каф. транспортно-технологических систем, Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ). Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136; 004655@pnu.edu.ru; ORCID: 0000-0003-4387-0228

Evgeniy A. Shishkin

Pacific National University

SELECTION OF THE OPERATING MODES OF COMPACTORS FOR ASPHALT-CONCRETE MIXTURES

The quality of the resulting coating depends on the correctness of the assignment of the operating modes of the sealing equipment. It is important to set the temperature limits of the effective rolling of the layer with a given road roller. In the article, the dependences of the temperature limits of the effective operation of the roller are obtained, on the basis of which an algorithm for choosing rational modes of operation of sealing equipment is designed. The algorithm takes into account the

cost of work on compaction of the asphalt concrete layer and can be used to form an optimal set of road rollers in the specified conditions of work.

Key words: road roller, asphalt-concrete mixture, rollers, rolling, strength, linear pressure, temperature, algorithm.

For citation:

Shishkin E. A. [Selection of the operating modes of compactors for asphalt-concrete mixtures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 78—87.

About author:

Evgeniy A. Shishkin — Candidate of Engineering Sciences, Pacific National University. 136, Tikhookeanskaya st., Khabarovsk, 680035, Russian Federation; 004655@pnu.edu.ru; ORCID: 0000-0003-4387-0228

УДК 666.972

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

^а Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

^б Волгоградский государственный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В БЕТОНАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены перспективные направления повышения эффективности химических добавок в технологии бетонов нового поколения. Рассмотрены возможные механизмы действия органоминеральных модификаторов. Показано, что наибольший интерес представляют органоминеральные добавки, обладающие реологической и гидратационной активностью. Представлены результаты влияния комплексных органоминеральных добавок на кинетику твердения и прочность бетонов нового поколения. Установлено, что по показателям прочности наиболее эффективными являются комплексные добавки, содержащие суперпластификаторы, бинарные микронаполнители и молотый песок.

Ключевые слова: высокопрочные бетоны нового поколения, органоминеральные добавки, супер- и гиперпластификаторы, микронаполнители, реологически активная матрица, молотый известняк, доломит, гранит, кварцевый песок, гидратные фазы, эпитаксиальное наращивание кристаллов, гидратационная активность, замедление гидратации, бинарные микронаполнители, прочность, кинетика твердения, тестирование суперпластификаторов и цементов.

Мировое потребление бетона в настоящее время составляет около 21 млрд т в год, и к 2050-му г. ожидается, что в связи с ростом населения планеты оно удвоится. Опыт строительства в нашей стране и за рубежом свидетельствует о том, что потребление высокопрочных бетонов классов В80 и выше постоянно растет, особенно при строительстве спецсооружений, таких как морские газонефтяные платформы, большепролетные мосты и путепроводы, башни-резервуары, работающие под давлением, высотные здания.

Вполне естественно, что с ростом производства бетона возрастает и потребление цемента, которое в настоящее время оценивается более чем в 4,3 млрд т в год.

В России производство высокопрочных бетонов еще относительно невелико, и это объясняется некоторой инертностью производителей, в т. ч. нежеланием переходить на новые технологии, поскольку традиционный бетон является наиболее востребованным строительным материалом. Вместе с тем в конструкциях из высокопрочных бетонов стоимость компонентов ориентировочно увеличивается в 1,5 раза. Однако расход всех компонентов бетона и арматуры (за счет более высокой прочности) вследствие уменьшения сечений несущих конструкций уменьшается в 2—3 раза. В свою очередь, это приводит к снижению массы конструкций, параметров оснований и фундаментов и в целом массы зданий, а также к уменьшению транспортных расходов.

Высокопрочные бетоны — многофункциональные бетоны, поскольку они имеют повышенные показатели водо- газонепроницаемости, морозосолеустойкости, деформативности, трещиностойкости и долговечности в целом. За рубежом высокопрочные бетоны (130...150 МПа) начали использовать после 1990 г. [1—3].

В настоящее время в России выпускаются несколько видов бетонов, различающихся по показателям прочности: общестроительного назначения (классов В7,5...В40) повышенной прочности (В50...В80), высокопрочные марок М1200...1500 (классов выше В80 в российских стандартах нет) и сверхпрочные — прочностью выше 150 МПа. Эволюция бетона шла с внедрением новых технологий с применением добавок, повышающих прочность, супер- и гиперпластификаторов (СП и ГП), высокопрочных наполнителей, молотых и фракционированных песков и щебня, добавок реакционно-активных микронаполнителей, интенсивного вибрационного уплотнения, центрифугирования и т. д.

В России в настоящее время массово выпускаются традиционные бетоны классов В12,5...В40, бетоны повышенной прочности выпускаются в меньшем объеме и еще в меньшем — высокопрочные. Расход цемента в подобных бетонах варьируется от 200 до 600 кг/м³, показатель удельного расхода цемента на единицу прочности $\left(K = \frac{C}{R}, \text{ кг/МПа} \right)$ составляет 8...10, а иногда и выше.

В работах В. И. Калашникова была впервые показана возможность получения бетонов требуемой прочности с низким показателем K [4, 5]. Проблема решается добавлением в бетонную смесь тонкомолотого каменного микронаполнителя.

Концепция проектирования высокопрочных и традиционных бетонов с низким удельным расходом цемента заключается в трансформации реологической матрицы, обеспечивающей рациональную реологию бетонной смеси за счет применения тонкодисперсных компонентов, замещающих цемент по мере уменьшения его содержания в составе бетона.

В цементной системе с самого начала водозатворения начинается активный процесс гидратообразования, в большей степени это относится к алюминатным фазам. В процессе гидратации образуются суперколлоидные частицы гидратов, которые достаточно трудно дисперсировать СП и ГП. Вместе с тем в работах В. И. Калашникова [5—8], а также в наших работах [9] отмечено, что тонкомолотые микронаполнители, полученные на основе прочных и плотных горных пород, в присутствии СП и ГП разжижаются лучше, чем цементные системы, и, являясь инертными по отношению к воде, не гидратируются и не связывают большое количество воды, в отличие от гидратов АFm-фаз (C₂AH₈, SAH₁₀, C₄AH₁₃₋₁₉) и АFt-фаз (гидросульфаталюминаты кальция трехсульфатной и моносульфатной формы).

В связи с этим возникает проблема снижения цементоемкости бетонов без снижения основных физико-механических характеристик и долговечности. Решение этой проблемы определяет важнейшее направление развития технологий бетонов средних классов прочности с низким показателем удельного расхода цемента на единицу прочности. Подобные технологии возможно реализовать с использованием тонкомолотой каменной муки (КМ) на основе плотных и прочных горных пород. В современных высокопрочных бетонах марок 1000...1500, изготавливаемых за рубежом, наряду с микрокремнеземом используется известняковая, кварцевая, базальтовая, гранитная и другие виды каменной муки, вводимые в составе смешанного вяжущего в количестве до 100 % от массы цемента, не заменяя его, а дополняя,

создавая дополнительный объем тонкодисперсной матрицы. В рядовых бетонах средних классов по прочности количество КМ возрастает с уменьшением количества цемента в смеси. Реологическая матрица, состоящая из цемента и КМ, улучшает растекаемость бетонных смесей, повышая эффективность СП и ГП, что в свою очередь позволяет значительно сокращать водопотребность смесей, повышать прочность бетона и в целом улучшать его физико-механические свойства.

Перспектива получения бетонов средних марок с низким показателем K с использованием различных видов КМ обусловлена тем, что в настоящее время объем отходов горнодобывающей промышленности, накопленных в отвалах, составляет около 5 млрд м³, из которых перерабатывается и осваивается не более 10...15 %. Отсевы камнедробления в основном представлены высокопрочными фракциями 3...10 мм, которые являются наиболее предпочтительными для самоуплотняющихся бетонных смесей, хотя наиболее эффективным наполнителем высокопрочных бетонов М500...1500 является щебень с крупностью зерен 10...15 мм. Более мелкий щебень обладает повышенной взвешивающей способностью, что приводит к снижению сил трения между частицами мелкого наполнителя в отличие от крупного, и это способствует улучшению растекаемости смесей. Более мелкие отходы камнедробления 0—3 мм являются чрезвычайно востребованным материалом для получения КМ, используемой в производстве высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов.

Проблема успешной реализации отходов камнедробления связана, главным образом, с необходимостью их фракционирования, т. е. подготовкой фракций 5...10 (до 15) мм и более тонкой КМ 0...3 мм.

КМ, улучшающая реотехнологические свойства пластифицированных бетонных смесей, должна быть неотъемлемым компонентом как в высокопрочных бетонах, так и в бетонах общего назначения (с низким показателем удельного расхода цемента на единицу прочности), но не менее важное значение для формирования микроструктуры и прочности имеют реакционно-химические свойства КМ. Сочетание реологической и реакционно-химической активностей КМ позволяет определить целесообразность применения ее в бетонах нового поколения для достижения высоких реологических и физико-механических свойств. Эти факторы являются главными критериями при выборе вида КМ. Кроме того, при проектировании составов бетонов нового поколения важным фактором является реологическая активность самого цемента, а также возможность достижения синергетических реологических эффектов смеси цемента и КМ. Только при совместном достижении высоких водоредуцирующих и гидратационных показателей возможно получение высокопрочных и особовысокопрочных бетонов.

В работе [10] отмечается, что из природных горных пород наибольшей реологической активностью обладают известняки и доломиты. В наших ранних исследованиях высокая реологическая активность отмечена также для гранитной муки [11].

К цементу необходимо добавить КМ с целью увеличения реологического воздействия СП на смесь. Если каменная мука является более реологически активной, то в смеси с цементом появляется возможность большего снижения

воды, чем в цементно-водной системе, что будет способствовать повышению плотности и прочности бетона.

В технологии бетонов нового поколения наибольшей реологической активностью обладают тонкодисперсные наполнители, полученные помолом прочных и плотных пород, обладающих низким водопоглощением. С позиций гидратационно-химической активности предпочтение следует отдавать кремнесодержащим и плотным карбонатным породам — граниту, диабазу и т. д. Механическая активация горных пород является эффективным способом повышения их реологической и гидратационной активности.

При помолу на поверхности частиц появляются различного рода дефекты, усиливающие адсорбционные процессы и соответствующие ускорению кристаллизации гидратных фаз на активных центрах минеральных частиц.

Важным направлением исследований в области технологий бетонов нового поколения является анализ применения тонкомолотых песков.

Несмотря на то, что подобные пески в меньшей мере, чем цементные и другие минеральные породы, разжижаются в присутствии СП и ГП, тем не менее в смеси с цементом возможно получение значительных водоредуцирующих эффектов. Механизм подобного явления до конца не ясен [10].

На кафедре СМиСТ ИАиС ВолгГТУ проводились исследования по использованию тонкомолотых наполнителей: измельченный кварцевый песок (КВП); измельченный шлаковый микронаполнитель (ШМН) из шлаков Волжского трубного завода; измельченный отсев гранитного щебня (КМ) в технологии высоконаполненных мелкозернистых бетонов (ВНМЗБ). Удельная поверхность измельченных наполнителей составляла: шлакового наполнителя — 4500—4800 см²/г; кварцевого песка — 4900—5000 см²/г; каменной (гранитной) муки — 4450 см²/г. Применение таких микронаполнителей в технологии высоконаполненных мелкозернистых бетонов приводит к недоуплотнению бетонной смеси при поличастотном виброуплотнении. В связи с этим предложено двухчастотное виброуплотнение на специальной вибрационной установке (рис. 1).

Время вибрационного уплотнения варьировалось от 10 до 30 с. Изменение частоты колебаний (верхнее — 12600 мин⁻¹, нижнее — 3000 мин⁻¹ с пригрузом 10 кПа). Такое виброуплотнение повышает однородность структуры ВНМЗБ с использованием тонкомолотых наполнителей, а колебательная энергия двухчастотного уплотнения позволяет перегруппировать зерна заполнителей цемента и тонкомолотых наполнителей. Кроме того, использование пластифицирующих добавок СП и ГП способствовало лучшему разжижению цементных композиций. Все это привело к улучшению свойству ВНМЗБ, а также к увеличению их прочностных показателей.

Для оптимизации параметров технологии ВНМЗБ установлено соотношение цемента и микронаполнителей 1:0,5; 1:0,3; 1:0,8. При двухчастотном



Рис. 1. Установка для двухчастотного вибрационного уплотнения

режиме виброуплотнения бетонных композиций получена прочность ВНЗМБ при сжатии (кубиковая, 28 сут) 117...120 МПа и средняя плотность 2345 кг/м³. Прочность при изгибе (28 сут) составила 7,0...7,1 МПа. Величина прироста прочностных характеристик ВНЗМБ в возрасте от 28 до 180 сут составила для прочности на сжатие 15...17 %, при прочности на изгиб — 20 % [12—14].

Исследования структуры образцов ВНЗМБ методами оптической микроскопии подтвердили эффективность двухчастотного виброуплотнения для создания плотных, однородных высокопрочных мелкозернистых бетонов.

Важным вопросом в теории и практике бетонов нового поколения является изучение характера влияния комплексных органоминеральных добавок на микроструктуру и состав продуктов гидратации цементных систем. Применение комплексных органоминеральных добавок в технологии бетонов имеет две отличительные особенности.

Первая заключается в том, что практически все органические пластификаторы замедляют гидратационные процессы в цементных системах [15] и основной эффект повышения прочности в присутствии СП и ГП связан с резким снижением водопотребности бетонных смесей. С течением времени восстанавливается нормальный порядок формирования гидратных фаз, который был замедлен в начальный период, и прочность цементных систем повышается. Однако кристаллизационная структура гидратных фаз в присутствии СП и ГП нарушается и искажается [16—18].

Второй особенностью является то, что в присутствии многих минеральных микронаполнителей возможно проявление гидратационной активности, а также кристаллизация гидратных фаз цемента на активных центрах частиц микронаполнителя (эпитаксиальное наращивание).

Таким образом, в сложных многокомпонентных цементных системах образование зародышей кристаллогидратов и последующий их рост и кристаллизация происходят в присутствии множества сложных ионов и аквакомплексов, которые вовлекаются в межслоевое пространство АFm-фаз и Са(ОН)₂, а также в структуру кремнекислородных мотивов гидросиликатов кальция, что приводит к формированию искаженных, напряженно-деформированных и дефектных структур. Тем не менее комплексные органоминеральные добавки являются достаточно эффективными и позволяют вследствие значительного понижения водопотребности получать высокую плотность и прочность бетона.

Не меньшее значение в ранний период гидратации имеет поляризационное влияние ионов на структуру гидратных фаз, особенно гидроалюминатов кальция АFm-фаз. Результатом подобного поляризационного влияния является стабилизация гидратов АFm-фаз (C₂АН₈, C₄АН₁₃₋₁₉, САН₁₀) в присутствии, например, полимерных добавок СП и ГП и замедление из перекристаллизации в наиболее термодинамически устойчивые фазы [16, 17].

При проектировании составов сложных органоминеральных добавок очевидно следует индивидуально учитывать влияние каждого компонента на состав продуктов гидратации и структуру гидратных фаз. Большинство современных комплексных добавок являются многокомпонентными и содержат в своем составе кроме СП и ГП также ускоряющие, противоморозные, стабилизирующие и другие ингредиенты. Поэтому процессы гидратации цементных

систем в присутствии подобных добавок еще более осложняются. Следует отметить, что многофакторность физико-химических явлений, протекающих в модифицированных цементных системах, не позволяет с достаточной степенью точности оценить влияние каждого компонента модификатора на гидратационные процессы, и анализ этих процессов отчасти является предположительным, поскольку в неоднородных цементных системах на ранних стадиях гидратации проявляются поверхностные ион-ионные, ион-дипольные и другие типы взаимодействий, и оценить роль каждого процесса практически невозможно. В конечном итоге мы имеем дело с общим результирующим фактором влияния модифицирующей добавки на состав продуктов гидратации и свойства цементных систем. При назначении минеральных компонентов необходимо иметь представление о кристаллохимическом строении минералов, предпочтение следует отдавать тем, структура которых близка к структуре гидратных фаз цемента. Например, структура кальцита (параметр «а») близка к структуре $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а структуры AFm-фаз, в свою очередь, близки к структуре $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [16].

Подобные факторы позволяют сделать предположение, что в цементных системах в присутствии минеральных микронаполнителей (например, карбонатных пород) в процессе гидратации и роста кристаллов AFm-фаз и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ассоциаты вещества, имеющего близкие параметры кристаллической решетки, могут встраиваться в структуру гидроалюминатов кальция. Известно [19], что гидратация алюминатов начинается с адсорбции воды на поверхности кристалла, но при этом слой жидкости наблюдается не на всей поверхности, а на отдельных ее участках. Роль активных центров могут выполнять следы дислокаций, выходящие на поверхность кристалла, а также ионы кальция в структуре кристаллической решетки безводных алюминатов. Процесс гидратации в начальной стадии связан с экстрагированием CaO из структуры алюминатов. Оставшийся алюминатный комплекс при взаимодействии с H_2O и OH^- подвергается гидролизу до ионов $[\text{Al}(\text{OH})]^{4-}$, реагирующих с Ca^{2+} с образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$. Их взаимодействие приводит к образованию гидроалюминатов кальция различной основности [19].

Вследствие близких параметров кристаллических решеток, например кальцита с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидроалюминатами кальция, гидраты могут осаждаться на поверхности частиц кальцита с последующим ростом кристаллов. Таким образом, микронаполнители на основе карбонатсодержащих пород могут оказывать активирующее влияние на кристаллизацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и AFm-фаз.

В работе [20] показано, что в присутствии кальцита происходит формирование гидросиликатов кальция различной структуры, например по схеме на рис. 2.

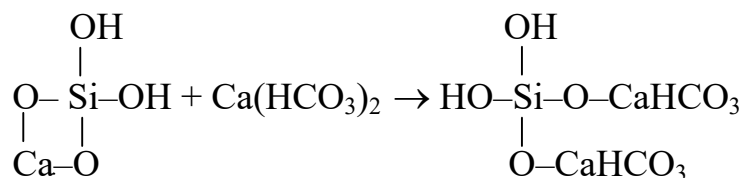


Рис. 2. Формирование гидросиликатов кальция в присутствии кальцита

Вследствие изменения порядка образования и конденсации гидратов ортосиликатов кальция в присутствии кальцита в цементной системе формируется множество гидратных фаз различной структуры, упрочняющих систему. Тонкодисперсный кальцит может способствовать образованию скаутита и (или) таумасита в малом количестве, однако этот процесс может существенно изменить порядок формирования кремнекислородных мотивов гидросиликатов кальция, результатом которого может явиться образование гидросиликатов кальция различной структуры, что может способствовать повышению прочности цементных материалов.

Известно [20], что тоберморит при соотношении $Ca/Si > 1$ через различные промежутки времени может трансформироваться в другие гидросиликаты кальция, и одной из возможных форм перехода является ксонотлит. Возможно, что образование ксонотлита является следствием углубленных конденсационных процессов. В наших исследованиях [21] установлено, что в присутствии тонкодисперсного кальцита в системе наблюдается повышенное количество извести, что может являться одним из условий образования ксонотлита, а ксонотлит, в свою очередь, является основой для образования скаутита. Скаутит может образовываться как на основе ксонотлита, так и на основе тоберморита, но очевидно, что реакция образования скаутита на основе тоберморита будет предпочтительной, так как структура тоберморита является менее устойчивой [20].

Таким образом, наиболее перспективными с точки зрения активации гидратообразования на частицах микронаполнителя являются карбонатные породы.

Проведены исследования по оценке кинетики твердения и прочности бетонов нового поколения нормального твердения с различными микронаполнителями. В качестве минеральных добавок приняты тонкомолотые доломит, известняковая мука, гранит, пески различных фракций и микрокремнезем. Добавка ГП Melflux 5581 вводилась с водой затворения в количестве 0,8 % от массы цемента, результаты представлены в таблице.

Установлено, что лучшие результаты в стандартном возрасте твердения получены на гранитном микронаполнителе. Однако в ранние сроки бетоны на бинарных микронаполнителях позволяют достигать значительно более высоких показателей. Например, прочность бетона, приготовленного на смеси молотых известняка и гранита, в 2,4 раза превышает прочность бетона с добавкой только гранитного микронаполнителя. Этот фактор имеет большое значение для заводов ЖБИ и для монолитного строительства, поскольку при использовании бинарных минеральных наполнителей создается возможность значительного сокращения времени твердения бетона. Выполненные исследования показали, что использование фракционированных песков совместно с тонкомолотыми микронаполнителями позволяет получать бетоны нового поколения прочностью до 130 МПа. Кроме того, применение фракционированных песков в смеси с КМ создает возможность отказаться от использования микрокремнезема, который сегодня считается неотъемлемым компонентом высокопрочных бетонов.

*Исследование физико-механических свойств
 реакционно-порошкового бетона на моно- и бинарном наполнителе*

Наименование компонентов бетона	Кол-во компонентов на 1 м ³ , кг	Водотвердое отношение	Прочность бетона на изгиб $R_{изг}$ и при одноосном сжатии $R_{сж}$, МПа, через сут							
			1		7		14		28	
			$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
1. Цемент ЦЕМ I	668	0,112	7,8	74,4	8,0	101,0	12,9	108,0	16,0	114,4
Melflux	5,2									
5581 0,8 % от Ц										
Доломит молотый ($S_{уд} = 445 \text{ м}^2/\text{кг}$)	250									
Известняковая мука ($S_{уд} = 280 \text{ м}^2/\text{кг}$)	84									
Микрокремнезем	66									
Песок тонкий, 0,16...0,63 мм	1002									
Вода	233									
2. Цемент ЦЕМ I	655	0,121	7,0	40,8	8,5	84,5	14,5	98,8	16,0	99,6
Melflux 5581	5,2									
0,8 % от Ц										
Доломит молотый ($S_{уд} = 445 \text{ м}^2/\text{кг}$)	327									
Микрокремнезем	66									
Песок тонкий, 0,16...0,63 мм	982									
Вода	246									
3. Цемент ЦЕМ I	623	0,117	4,8	28,0	14,1	116,0	15,3	122,0	17,6	134,0
Melflux 5581	5,0									
0,8 % от Ц										
Гранит молотый ($S_{уд} = 370 \text{ м}^2/\text{кг}$)	294									
Песок тонкий, фр. 0,16...0,63 мм	653									
Песок крупный, 0,63...2,50 мм	436									
Вода	236									
4. Цемент ЦЕМ I	688	0,115	9,8	67,2	11,1	108,0	12,4	116,0	16,6	127,6
Melflux 5581	5,5									
0,8 % от Ц										
Известняк молотый ($S_{уд} = 320 \text{ м}^2/\text{кг}$)	115									
Гранит молотый ($S_{уд} = 420 \text{ м}^2/\text{кг}$)	229									
Песок тонкий 0,16...0,63 мм	1032									
Вода	238									

Примечание: ГП — микрокремнезем производства АО «Кузнецкие ферросплавы».

Важно также, что бинарные микронаполнители являются более предпочтительными по сравнению с индивидуальными, поскольку в определенной степени позволяют нивелировать некоторые негативные явления при использовании индивидуальных добавок. Моделирование адсорбционных, электрохимических, коллоидных и кристаллизационных процессов в гетерогенных цементных системах с выходом на стабильный конечный результат достаточно затруднено, поэтому основной задачей при проектировании высокопрочных бетонов является тестирование цементов и микронаполнителей по показателям эффективности действия СП и ГП и по характеру влияния комплексных добавок на активацию гидратационных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *De Larrard F., Corse J.-F., Puch C.* Comparative study of Various Silica Fumes as Additives: In High-Performance Cementitious Materials // *Materials et Structures*. 1992. Vol. 25. Pp. 265—272.
2. *Possi P.* High Performance Fibre Reinforced Concretes (HPFRC). PPM/PAO course on cement: Based Composites for Building Industri. Leeuwenhort Congress Center, 1999.
3. *Plank J., Sachgenhauser B.* Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. No. 1. Pp. 1—5.
4. *Калашиников В. И.* Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения // *Бетон и железобетон*. 2012. № 1. С. 82.
5. *Калашиников 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.
6. *Калашиников В. И.* Основы пластифицирования минеральных дисперсных систем для производства строительных материалов : дисс... д-ра техн. наук. Воронеж, 1996. 89 с.
7. *Калашиников В. И.* Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 4—6.
8. *Калашиников В. И.* Концепция стратегического развития пластифицированных порошково-активированных бетонов нового поколения // *Бюллетень строительной техники*. 2016. № 12(998). С. 48—52.
9. *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—69.
10. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами / В. И. Калашиников, М. Н. Мороз, О. В. Тараканов, Д. В. Калашиников, О. В. Суздальцев // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 70.
11. *Тараканов О. В., Белякова Е. А., Горшков В. И.* Противоморозные добавки на основе суперпластификаторов, минеральных и ускоряющих модификаторов // *Региональная архитектура и строительство*. 2014. Вып. 1(18). С. 53—58.
12. *Хирис Н. С., Акчурин Т. К.* Анализ влияния шлакового микронаполнителя на процессы формирования структуры высоконаполненного мелкозернистого бетона // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2013. Вып. 33(52). С. 97—101.
13. *Хирис Н. С., Акчурин Т. К.* Формирование внутренней структуры мелкозернистого бетона высокой плотности и прочности при наполнении металлургическим шлаком и двухчасотном виброуплотнении // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2014. Вып. 35(54). С. 121—125.
14. *Хирис Н. С., Акчурин Т. К.* Высоконаполненный мелкодисперсный бетон // *Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : матер. IV Междунар. науч.-техн. конф.* Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2013. С. 251—256.
15. The Influence of Plasticizer on the Composition of Cement Stone Hydration Products / O. V. Tarakanov, E. A. Belyakova, V. I. Kalashnikov, O. V. Grintsova, N. I. Makridin // *International*

Symposium on Mechanical Engineering and Material Science (ISMEMS). 2016. Vol. 93. Pp. 186—191.

16. *Тейлор Х.* Химия цемента. М. : Мир, 1996. 560 с.
17. *Рашинов В. Б., Розенберг Т. И.* Добавки в бетон. М. : Стройиздат, 1989. 187 с.
18. *Тараканов О. В.* Бетоны с модифицирующими добавками на основе вторичного сырья. Пенза : ПГУАС, 2004. 564 с.
19. *Кузнецова Т. В.* Алюминатные и сульфоалюминатные цементы. М. : Стройиздат, 1986. 208 с.
20. *Козлова В. К., Ильевский Ю. А., Карнова Ю. В.* Продукты гидратации кальцево-силикатных фаз цемента и смешанных вяжущих. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2005. 185 с.
21. *Тараканов О. В., Пронина Т. В.* Гидратация и твердение цементных материалов с добавками минеральных шламов. Пенза : Изд-во ПГУАС, 2006. 150 с.

© *Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Белякова Е. А., Душко О. В., 2023*

*Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Белякова Е. А., Душко О. В. Перспективы применения комплексных органоминеральных добавок в бетонах нового поколения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 88—98.

Об авторах:

Тараканов Олег Вячеславович — д-р техн. наук, проф., Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Титова, 28; tarov60@mail.ru

Акчурин Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.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. Титова, 28; var_lena@mail.ru

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, первый проректор, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

Oleg V. Tarakanov^a, Talgat K. Akchurin^b, Elena A. Belyakova^a, Oleg V. Dushko^b

^a *Penza State University of Architecture and Construction*

^b *Volgograd State Technical University*

PROSPECTS FOR THE USE OF COMPLEX ORGANOMINERAL ADDITIVES IN NEW GENERATION CONCRETE

Promising directions of increasing the efficiency of chemical additives in the technology of new generation concrete are considered. Possible mechanisms of action of organomineral modifiers are considered. It is shown that organomineral additives with rheological and hydration activity are of the greatest interest. The results of the influence of complex organomineral additives on the kinetics of hardening and strength of new generation concrete are presented. It was found that complex additives containing superplasticizers, binary micro-fillers and ground sand are the most effective in terms of strength.

Key words: high-strength concretes of a new generation, organomineral additives, super- and hyperplasticizers, micro-fillers, rheologically active matrix, ground limestone, dolomite, granite, quartz sand, hydrate phases, epitaxial crystal buildup, hydration activity, hydration retardation, binary micro-fillers, strength, hardening kinetics, testing of superplasticizers and cements.

For citation:

Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Belyakova E. A., Dushko O. V. [Prospects for the use of complex organomineral additives in new generation concrete]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 88—98.

About authors:

Oleg V. Tarakanov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Penza State University of Architecture and Construction. 28, 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

Elena A. Belyakova — Candidate of Engineering Sciences, Penza State University of Architecture and Construction. 28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation; var_lena@mail.ru

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

УДК 62 (075.8)

О. В. Бурлаченко, А. Р. Рисунов, Е. Д. Соболева, А. Д. Воробьева

Волгоградский государственный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН, НА ПРИМЕРЕ ЭКСКАВАТОРА

Целью исследования является поиск методов повышения эксплуатационных характеристик и производительности экскаватора путем модернизации основного рабочего оборудования. Экскаваторы являются одними из самых востребованных видов строительной техники, узлы которых в значительной мере подвержены динамическим нагрузкам. Численные и экспериментальные модели в большинстве случаев не учитывают влияние эксплуатационных нагрузок на характеристики конструкции. В исследовании проведен анализ данных, полученных в ходе эксплуатации экскаватора с базовой версией механизма.

Ключевые слова: категория грунта, объем работ, рабочее оборудование, объем ковша экскаватора, безотказность, стоимость, срок эксплуатации, цикл работы, ремонтпригодность.

Введение

Одной из актуальных задач строительной отрасли является оптимизация проведения строительно-монтажных работ, в т. ч. нахождение решений, исключающих лишние материальные затраты и уменьшающих сроки строительства объектов. Ведущие строительные машины выполняют самые трудоемкие операции, и их производительность оказывает непосредственное влияние на продолжительность и стоимость проведения работ [1—5].

В случае сложных конструкций правильная и достаточная идентификация их полных характеристик до сих пор не была системной. С развитием математических численных методов и появлением мощных компьютеров исследования в этом направлении вышли на новый уровень [6]. По сей день надежным методом определения различных характеристик является эксперимент. Его результаты дают полную информацию о машине, но уже как об эксплуатируемом объекте.

Основная часть

Работе экскаватора свойственны значительные колебания усилий выемки грунта [5]. Кроме того, генерируются вибрации транспортируемым материалом, ударяющимся о шкивы и точки выгрузки, в приводах [7] и конвейерах [8].

При выборе экскаватора следует учитывать, что объем работ, геотехнические характеристики и природно-климатические условия ведения строительства оказывают влияние на стоимость и сроки его проведения. Не всегда можно найти оптимальное соотношение данных факторов. Проблема возникает и в том, что не все геологические характеристики местности проведения работ принимаются в расчет при вариантном проектировании и выборе средств механизации и при разработке мероприятий поддержки их работоспособности. Это влечет за собой дополнительные затраты на ремонт, прогнозируемые простои рабочих машин и персонала [8, 9].

Совершенствование элементов машин, в том числе экскаваторов, возможно при понимании физической сущности взаимосвязи характеристик грунта и цикла работы конкретного элемента машины. Это влияет на возможность нахождения зависимостей изменяемых эксплуатационных характеристик машин с целью дальнейшего их совершенствования и оптимизации формы и материала [10, 11].

Исследование заключалось в подборе оптимальной конструкции рабочего оборудования, позволяющей увеличить производительность и уменьшить затраты на ремонт строительной машины, что влияет на сроки строительства и общую его стоимость.

В качестве основного объекта исследования выбран экскаватор серии ЭО модели 2626 из-за универсальности, большой проходимости благодаря гусеничной базе, наличия обратной лопаты, что позволяет вести работы с кромки котлованов. Выбранная модель способна вести работы в местности с грунтами 1—4 категорий, разрабатывать грунты с бровки котлована, что позволяет вести разработку траншей и других выемок [12—16].

Основным достоинством конструкции является способность разрабатывать траншеи, котлованы и других выемки ниже стоянки самого экскаватора с учетом обратного направления. Строительная машина снабжена полностью вращающимися ковшами. Рабочее оборудование состоит из ряда элементов: ковш, стрела, опоры, отвал. Оно приводится в движение благодаря работе гидравлической системы [17].

Четырехзвенные с 2 гидроцилиндрами шарнирно-рычажные системы приводят в движение рабочие органы по вертикальной оси. Перемещение основного рабочего органа производится при помощи 1-го гидроцилиндра. Передвижение базы производится гидромотором. Емкостью управляет гидроцилиндр через спаренные кривошипно-шатунные механизмы, открывающие и закрывающие емкости [18—21].

После набора грунта ковшом поднимают стрелу и разворачивают базу, затем рукоять опрокидывают, и грунт помещается либо в отвал, либо в грузовой транспорт. По завершении погрузочно-разгрузочного цикла механизмы занимают исходное положение для продолжения работы. Для минимизации цикла работы экскаватора пустой ковш возвращается одновременно с возвратом стрелы в исходное положение и поворотом базы на исходную позицию [22].

Характеристики выбранной модели представлены в табл. 1.

Рабочий орган (рис. 1) разрабатывается с закругленным дном в 2 модификациях:

- с наличием режущей зубчатой кромки — для разработки траншей;
- с наличием полуоткрытой кромки без зубьев — для земляных работ в стандартных условиях.

Для исследования принята модель рабочего органа с наличием режущей зубчатой кромки. **Целью** являлось совершенствование данной модели путем изменения геометрических параметров расположения зубьев [14].

Размеры рабочего элемента определяются по формуле:

$$q = CBH\alpha, \quad (1)$$

где $C = 0,69$; q — вместимость ковша обратной лопаты, м^3 ; B — ширина хода, м; H — высота копания, м.

Т а б л и ц а 1

Технические данные модели

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	60
Емкость ковша, м ³	0,5
Давление в гидросистеме, МПа	20
Тип насоса	Аксиально-поршневой
Глубина копания обратной лопаты, м	4,1
Высота выгрузки обратной лопаты наибольшая, м	4
Радиус выгрузки обратной лопаты наибольший, м	5,4
Продолжительность рабочего цикла при копании обратной лопаты, с	25
Габариты в транспортном положении обратная лопата, мм:	
длина	810
ширина	2000
высота	780
Масса экскаватора, т	5,950
Максимальное усилие резания ковша, кг	3500

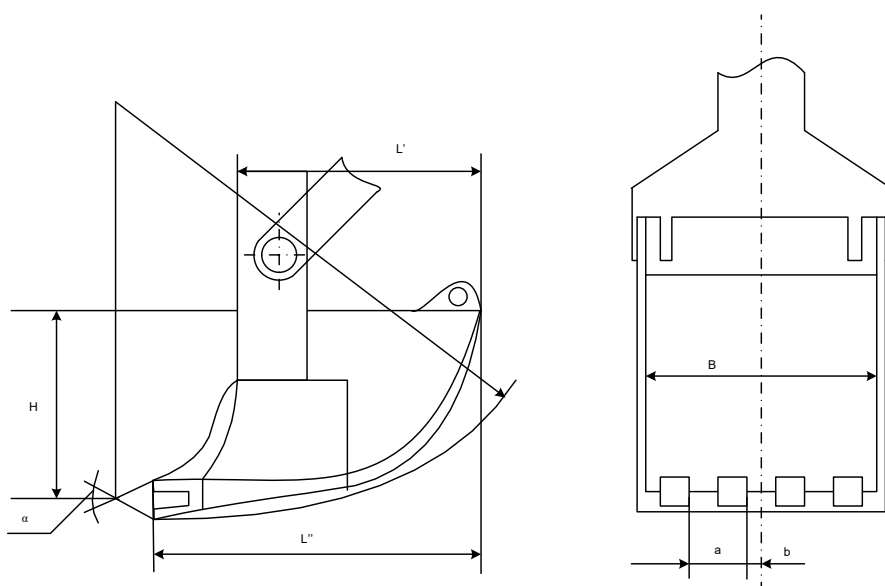


Рис. 1. Схема рабочего элемента

При этом:

$$B = 1,2\sqrt{q} = 1,2\sqrt{0,6} = 0,98 \text{ м,}$$

$$H = 0,9\sqrt{q} = 0,9\sqrt{0,6} = 0,74 \text{ м,}$$

$$R = 1,6\sqrt{q} = 1,6\sqrt{0,6} = 1,30 \text{ м,}$$

$$L' = 1,15\sqrt{q} = 1,15\sqrt{0,6} = 0,94 \text{ м,}$$

$$L^* = 1,55\sqrt{q} = 1,55\sqrt{0,6} = 1,27 \text{ м.}$$

Масса самого элемента с учетом его планировочной проектной емкости определяется по формуле, Нм:

$$G_1 = 1,3q = 1,3 \cdot 0,6 = 0,78, \quad (2)$$

здесь G_1 — масса узлов на базе объекта.

Геометрические характеристики рабочего органа должны отвечать требованиям сопротивления грунта конкретной местности. Для минимизации истирания боковых кромок в процессе работы зубья проектируют в уровень боковых граней органа. Ширина зубьев, м, определяется по формуле:

$$b = 0,11\sqrt{q} = 0,11\sqrt{0,6} = 0,9. \quad (3)$$

С целью минимизации нагрузки на основную часть ковша принимаем шаг зубьев, равный:

$$a = 2,5 — 3 \text{ см},$$

$$b = 2,5 — 3 \text{ см},$$

$$0,9b = 250 — 270 \text{ мм}.$$

На основании расчетного шага количество зубьев на оборудовании составит $n = 4$.

Нагрузки и усилия, приходящиеся на шарнир рабочего органа, определяются по графику усилий. В масштабе 1:1000 откладывается вектор усилий R в зависимости от своей величины. От конца вектора откладываются нагрузки от собственного веса и нагрузки от грунта, наполняющего рабочее оборудование:

$$G_{к+г} = g_k + \frac{g_r}{k-1}(n-1), \quad (4)$$

где g_k — вес рабочего органа, составляющий 360 кгс; $g_r = 0...1000$ — величина массы грунта в наполненном органе, кгс; k — число точек перемещения рабочего органа; n — точка исследуемого расположения органа.

Таким образом:

$$G_{к+г} = 360 + \frac{g_r}{k-1}(n-1). \quad (5)$$

Далее откладывается вектор усилий подъема стрелы. Затем откладывается вектор усилия в пружине. Он равен по направлению вектору усилия в органе. Все это будет составлять график усилий.

Значения усилий с помощью графика можно получить, умножая величины вектора усилий на 1000 кН. Результаты расчетов значений усилий приведены в табл. 2.

Рассчитаем оптимальные геометрические характеристики ковша по дну. Для этого примем усилие резания, действующего на дно органа, равным 3569 кН·м. На рисунке 2 приведена схема дна органа.

Таблица 2

Усилия в шарнире рабочего органа экскаватора
 при $k = 8 - 1 = 7$ и масштабе в 1 см — 1000 кН

Расчетное положение	R_r , кН	n	k/n	$\frac{k}{n} g_r$, кН	$G_{p\sigma} = 360 \frac{k}{n} g_r$, кН	S_r , кН	$S'_{шк}$, см	$S_{шк}$, кН
1	3600	0	—	—	—	11900	12,2	12200
2	4560	1	1/7	143	503	15200	16,5	16500
3	5720	2	2/7	286	646	19500	22,7	22700
4	6220	3	3/7	428	788	21600	26,4	26400
5	6130	4	4/7	572	938	21700	27,5	27500
6	5680	5	5/7	715	1075	20700	26,6	26600
7	4870	6	6/7	857	1217	18800	24,9	24900
8	3190	7	1	1000	1360	13750	18,4	18400

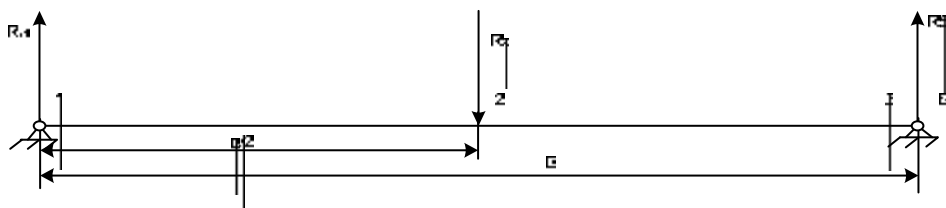


Рис. 2. Принятая расчетная схема

$$R_m = R_b = \frac{3596}{2} = 1784,5 \text{ кН},$$

где R_m — максимальный радиус копания, м; R_b — радиус на уровне выгрузки для обратной лопаты, м.

Величина мощности, используемой при горизонтальном и вертикальном перемещениях самой стрелы, определяется методом динамического момента, где система должна преодолеть инерцию при повороте [9]. Максимальный изгибающий момент, кН·м:

$$M = R_A \frac{B}{2},$$

$$M = 1784,5 \cdot \frac{98}{2} = 87440,5. \quad (6)$$

На рисунке 3 приведен разрез рабочего органа по нижней грани.

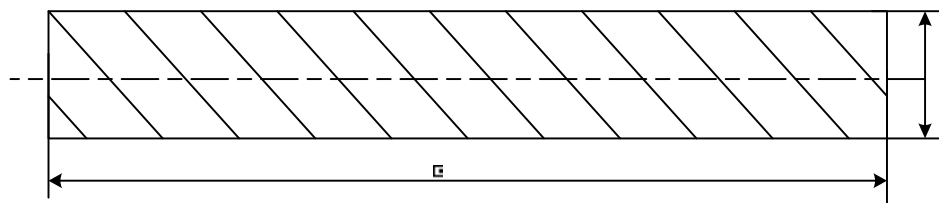


Рис. 3. Схема сечения нижней грани

Расчетное напряжение, МПа, в т. ч.:
главное напряжение

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq [\sigma], \quad (7)$$

касательное напряжение

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot 87440,5}{98 \cdot 1800}} = 1,72. \quad (8)$$

Выводы

Разработка методов проектирования рабочих органов строительных машин с оптимизацией их геометрических параметров является значительным резервом конструирования более надежных и высокопроизводительных машин и механизмов.

На основе полученных данных по эксплуатации экскаватора проведен анализ произведенной модернизации. Выведены оптимальные геометрические параметры ковша одноковшового экскаватора ЭО-2626, повышающие его производительность на 7,72 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. З. Надежность машин : учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1988. 238 с.
2. Бурлаченко О. В., Иванов М. В. Требования к очистке деталей машин в связи с износоустойчивостью // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всероссийской (с междунар. участием) науч.-техн. конф. молодых исследователей. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2019. С. 136—137.
3. Базров Б. М. Основы технологии машиностроения : учебник. М. : Инфра-М, 2019. 492 с.
4. Система предупреждения разрушения рукавов высокого давления гидропривода дорожно-строительных машин / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. А. Чебанова, В. Г. Поляков, А. А. Ляшенко, Машхадани Хумам Ахмед Дияб Ал // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 175—183.
5. Оганесян О. В., Бурлаченко О. В., Абрамян С. Г. Информационные (цифровые) технологии в машиноведении // The Scientific Heritage. 2020. Vol. 1. No. 57. Pp. 20—24.
6. Клепиков В. В., Схиртладзе А. Г., Солдатов В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник. М. : Инфра-М, 2018. 224 с.
7. Belyaev A., Gordienko V., Druzhinin P., Evtukov S. Mathematical model for selecting the best technology for restoring road construction machines // E3S Web of Conferences. 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202016403044.
8. Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Иванов М. В. Математическое обеспечение работоспособного состояния машин и механизмов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(60). С. 43—52.
9. Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В. Мобильная распылительная система на базе грузоподъемного транспортного средства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 119—125.
10. Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М. Гидравлический привод рабочих органов дорожно-строительных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 136—145.

11. *Логинов Е. В., Масальский С. С.* Исследование технических характеристик серийно выпускаемых моделей выемочно-погрузочного оборудования разных типов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2023. Т. 21. № 1. С. 15—23.
12. *Галушко М. В., Баландин С. Н.* Инновационное машиностроение как фактор развития импортозамещения // Наука России: Цели и задачи : сборник научных трудов по материалам XVI международной науч. конф. Екатеринбург : НИЦ «Л-Журнал», 2019. С. 11—14.
13. *Иванов А. В., Фурманов Д. В.* Навесная дорожная фреза на экскаватор и экскаватор-погрузчик // 73-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сб. материалов конф. В 2 ч. Ярославль : ЯрГТУ, 2020. С. 423—426.
14. *Litvin O., Litvin Y.* Evaluation of Effect of the Excavator Cycle Duration on its Productivity // E3S Web of Conferences. 2020. DOI: 174.01010.10.1051/e3sconf/202017401010.
15. *Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фоменко Н. А.* Повышение эффективности защиты гидропривода строительно-дорожных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 76—85.
16. *Бахмет И. В.* Транспортно-технологический сервис по оптимизации системы «экскаватор — транспортные средства» // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования : Материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием). Омск : СибАДИ, 2012. С. 174—178.
17. *Никифоров А. Д.* Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. М. : Высшая школа, 2006. 392 с.
18. *Almataev N., Toychiev Kh., Turgunaliyev E., Ulkanov S.* Improvement of physical and mechanical properties of plastic parts used in machine building // Universum : технические науки. 2021. No. 3—4(84). Pp. 52—55.
19. *Botyan E., Pushkarev A.* Improving the methodology of choosing machinery models for the formation of an excavator and vehicle fleet during the modernization of a mining transport system, with account for the Arctic specifics // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 57. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.031.
20. *Li Yu., Mu X., Rujun F.* Multi-objective optimization and simulation of novel working mechanism for face-shovel excavator // International Journal of Intelligent Robotics and Applications. 2021. No. 5. DOI: 10.1007/s41315-020-00160-1.
21. *Safiullin R., Fedotov V., Marusin A.* Method to evaluate performance of measurement equipment in automated vehicle traffic control systems // Transportation Research Procedia. 2020. No. 50. Pp. 20—27.
22. *Lukashuk O., Komissarov A., Letnev K.* Increasing power efficiency of open-pit excavators // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. DOI: 709.022083.10.1088/1757-899X/709/2/022083.

© Бурлаченко О. В., Рисунов А. Р., Соболева Е. Д., Воробьева А. Д., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Рисунов А. Р., Соболева Е. Д., Воробьева А. Д. Технологические решения модернизации оборудования, повышающие эксплуатационные показатели строительных машин, на примере экскаватора // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 99—106.

Об авторах:

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

Рисунов Андрей Романович — аспирант каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; andrey.risunov@mail.ru

Соболева Екатерина Дмитриевна — аспирант каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; eka11.97@mail.ru

Воробьева Анна Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; nowdawn3@mail.ru

Oleg V. Burlachenko, Andrey R. Risunov, Ekaterina D. Soboleva, Anna D. Vorobeva

Volgograd State Technical University

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR MODERNIZATION EQUIPMENT THAT INCREASES OPERATIONAL INDICATORS OF CONSTRUCTION MACHINES ON THE EXAMPLE OF AN EXCAVATOR

The purpose of the study is to consider improving the operational characteristics and productivity of the excavator by upgrading the main equipment. Excavators are one of the most popular types of construction equipment, the components of which are largely subject to dynamic loads. Numerical and experimental models in most cases did not take into account the impact of the operational load on the design characteristics.

Key words: excavation, excavator, soil category, scope of work, working equipment, excavator bucket volume, continuity of work, cost, service life, work cycle, maintainability.

For citation:

Burlachenko O. V., Risunov A. R., Soboleva E. D., Vorobeva A. D. [Technological solutions for modernization equipment that increases operational indicators of construction machines on the example of an excavator]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 99—106.

About authors:

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

Andrey R. Risunov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; andrey.risunov@mail.ru

Ekaterina D. Soboleva — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eka11.97@mail.ru

Anna D. Vorobeva — Student, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; nowdawn3@mail.ru

УДК 628.3

О. О. Ахмедова, А. Г. Сошинов, А. Э. Вирт, В. В. Вдовиченко

Камышинский технологический институт — филиал Волгоградского государственного технического университета

АНАЛИЗ РЫНКА ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Усиление контроля водных ресурсов со стороны государства и большие штрафы за сброс в водоемы некачественно очищенных сточных вод вынуждают руководителей предприятий обратить внимание на системы водоочистки. Рынок водоочистных сооружений за последние несколько лет значительно вырос. В статье проанализирована ситуация на рынке, обозначены основные игроки отрасли и тенденции ее развития. Предложен комплекс наиболее эффективных методов электрофизического воздействия для уменьшения продолжительности обработки и получения требуемых показателей качества при работе установки в автоматическом режиме.

Ключевые слова: очистка сточных вод, водоочистные сооружения, повторное использование, рынок установок водоочистки, ультрафиолет, ультразвук, СВЧ-обработка.

Анализ проблемы сброса неочищенных сточных вод

Проблема очистки сточных вод актуальна для всего мира. Основными источниками сточных вод являются промышленные предприятия, предприятия коммунально-бытового назначения, крупные животноводческие и земледельческие комплексы. От достаточной очистки этих стоков напрямую зависит качество питьевой воды, поступающей населению, и в целом экологическая безопасность. Сброс недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод в водоемы приводит к загрязнению их тяжелыми металлами, прочими вредными веществами, возбудителями опасных заболеваний [1].

Государственные органы в сфере надзора за безопасностью природной среды зарегистрировали около 3000 случаев экстремально высокого и высокого загрязнения водных объектов (по данным Росгидромета, табл., рис. 1).

Загрязнение водных объектов

Число зафиксированных случаев	2020 г.	% к 2019 г.	Справочно 2019 г. в % к 2018 г.
Всего,	2808	89,7	115,4
в т. ч.:			
экстремально высокого загрязнения	591	79,0	118,0
высокого загрязнения	2217	93,0	114,7

Задачей служб контроля загрязнений окружающей среды является выявление случаев сброса недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод в поверхностные водоемы.

СанПиН 2.1.5.980—00 регламентирует строгие требования к составу вод, содержанию в них вредных примесей, которые сливаются в водоемы¹.

¹ СанПиН 2.1.5.980-00.2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М., 2002. 13 с.

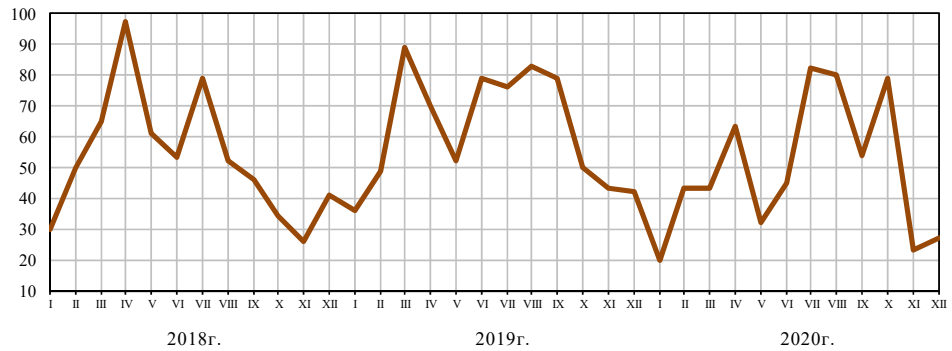


Рис. 1. Величина обнаруженных случаев экстремально высокого загрязнения поверхностных вод

К основным характеристикам вод относят:

1. Объем взвешенных частиц и плавающих элементов в стоках.
2. БПК стоков, по которому определяется объем кислорода, нужный для окисления органических веществ, содержащихся в водах. Значение увеличивается по мере возрастания количества грязевых элементов в стоках.
3. ХПК стоков, по которому определяют наличие кислорода, требуемого для разложения органики с помощью химических окислителей.
4. Объем химикатов, которые наносят вред экологии и человеку.
5. Уровень кислотности стоков.

На рисунках 2, 3 представлены объемы загрязняющих веществ, поступивших в водоемы в составе сточных вод в период 1993—2021 гг.

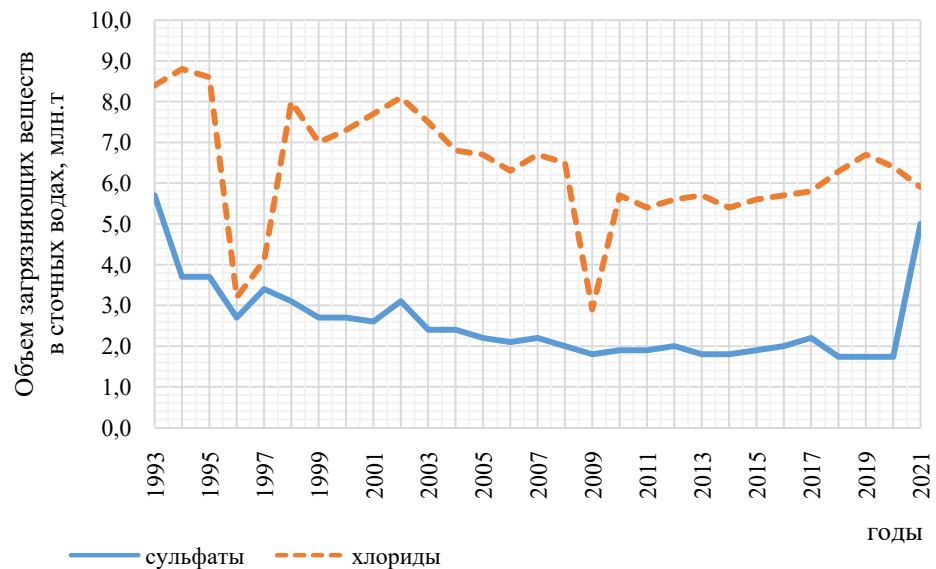


Рис. 2. Объем сульфатов и хлоридов, сброшенных в водоемы со сточными водами

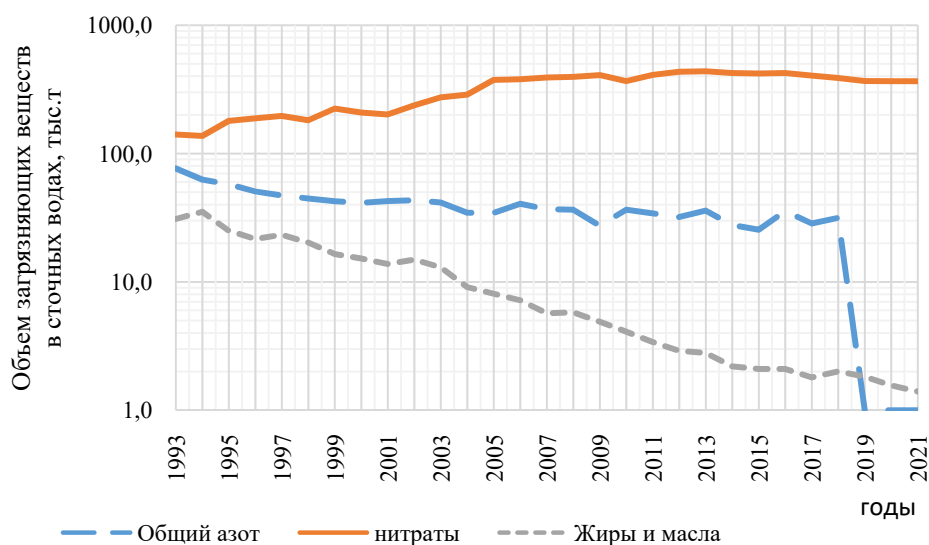


Рис. 3. Объем общего азота, нитратов, жиров и масел, поступивших в водоемы со сточными водами

В соответствии со ст. 77, 78 Федерального закона «Об охране окружающей среды», ч. 1 ст. 69 Водного кодекса РФ юридические лица, причинившие вред окружающей среде в результате ее загрязнения, обязаны возместить его в полном объеме. Определение размера причиненного вреда осуществляется, исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды с учетом понесенных убытков, в т. ч. упущенной выгоды, а также в соответствии с проектами рекультивационных и иных восстановительных работ, при их отсутствии — в соответствии с таксами и методиками исчисления размера вреда окружающей среде, утвержденными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды².

Промышленные предприятия активно внедряют установки очистки сточных вод, это связано с постоянно ужесточающимися требованиями к нормативам содержания вредных веществ в сточных водах, т. к. экологической безопасности уделяется все больше внимания. Кроме того, локальные установки очистки дают возможность не только избегать штрафов, но и экономить водные ресурсы за счет повторного использования очищенной воды в производственных целях.

Рынок установок очистки сточных вод за последние 5 лет развивался под влиянием усиления государственного экологического контроля и увеличением штрафов за неисполнение действующих нормативов. Крупным промышленным предприятиям пришлось вложить значительные средства в модернизацию систем водоочистки. Прогнозы на следующие 5 лет предполагают

² ФЗ № 7-ФЗ. Федеральный закон об охране окружающей среды. М. : Техэксперт, 2022. 95 с.

дальнейшее увеличение рынка в среднем на 7 % в год за счет следования курсом экологической безопасности и природосбережения [2—5].

Переломным годом в развитии производства водоочистных сооружений стал 2014-й, до этого оборудование, используемое на промышленных предприятиях, закупалось у иностранных поставщиков, но резкое изменение курса валют сделало закупки неконкурентоспособными, т. к. их стоимость увеличилась вдвое. Анализ выручки крупнейших производителей водоочистного оборудования показывает, что интенсивное развитие их предприятий началось именно с 2014 г., чему способствовало также ужесточение экологических норм для российского производства. В 2016 г. суммарная выручка 4 крупнейших предприятий отрасли выросла почти в 3 раза (рис. 4).

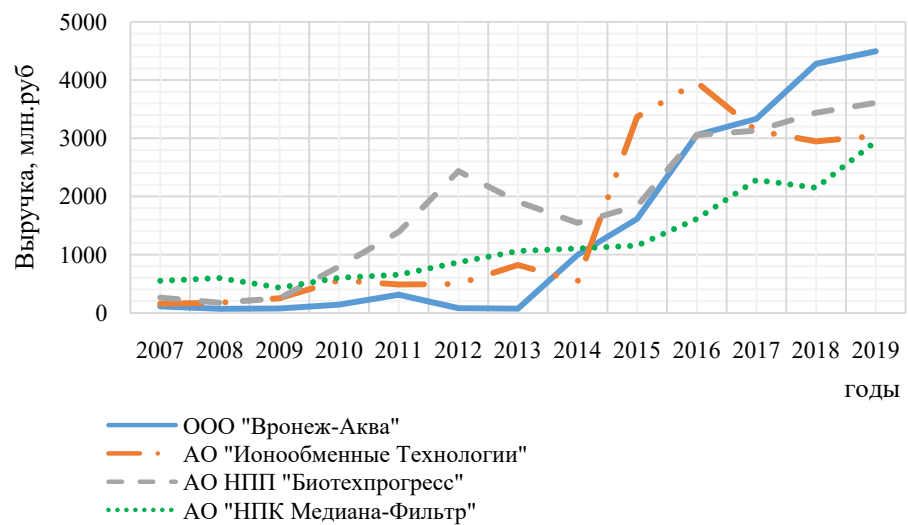


Рис. 4. Динамика выручки ведущих производителей в отрасли, млн руб.

Оценка текущих тенденций рынка

Анализ экономических показателей предприятий, производящих очистные сооружения, их потребителей, изменений показателей в туристической отрасли, стимулирования и поддержки правительством сельскохозяйственного и животноводческого секторов позволил выявить факторы, определяющие основные тенденции на рынке водоочистного оборудования:

1. Увеличение объемов потребления в стоимостном выражении. Это ключевой фактор, определяющий инвестиционную привлекательность отрасли. Участники рынка отмечают также, что значительный потенциал для роста сохраняется как на краткосрочную, так и среднесрочную перспективу.

2. Рост требований со стороны потребителей. Промышленные предприятия, модернизируя очистные сооружения, не только выполняют требования законодательства, но и решают задачу вторичного использования для снижения производственных затрат. Значительно возрос спрос на безотходные установки очистки стоков системы рецилинга, мембранные и биомембранные системы. Перераспределение туристического потока на внутренние курорты подталкивает застройщиков при проектировании и строительстве отелей

базы также устанавливать локальные установки очистки сточных вод с повторным использованием ее при поливе примыкающих территорий.

3. Ужесточение экологического законодательства. Надзор в сфере экологической безопасности и рационального ресурсопользования постоянно усиливается, что напрямую оказывает влияние на развитие рынка водоочистных сооружений. Предприятия, на которых бюджет на систему водоочистки идет по остаточному принципу, за счет учащающихся проверок вынуждены оплачивать штрафы за нарушение требований к содержанию вредных веществ в сточных водах и возмещать ущерб, нанесенный окружающей среде, величина которого обычно гораздо значительнее суммы штрафа.

4. Усиление конкуренции. На рынке водоочистки увеличиваются объемы предложений, приводя к конкуренции. За счет роста потенциала рынка в него вступают новые предприятия, диверсифицируя свое производство, а существующие игроки увеличивают ассортиментный ряд продукции.

5. Рост интереса к российскому оборудованию со стороны стран СНГ. С 2014 г. резкое ослабление рубля сделало рынок отечественных предприятий, производящих установки водоочистки, привлекательным для иностранных покупателей. Качество производимых установок соответствует предъявляемым требованиям, что вызвало увеличение объема экспорта в 1,5 раза в 2017 г. по сравнению с 2014 г.

Ассортимент на рынке водоочистных сооружений весьма разнообразен. На рисунке 5 представлено процентное распределение мировых и отечественных производителей установок очистки воды по их типу. Спектр оборудования разделен на 10 групп, среди которых более половины всего рынка заняли фильтры и фильтрационные установки [6—8].

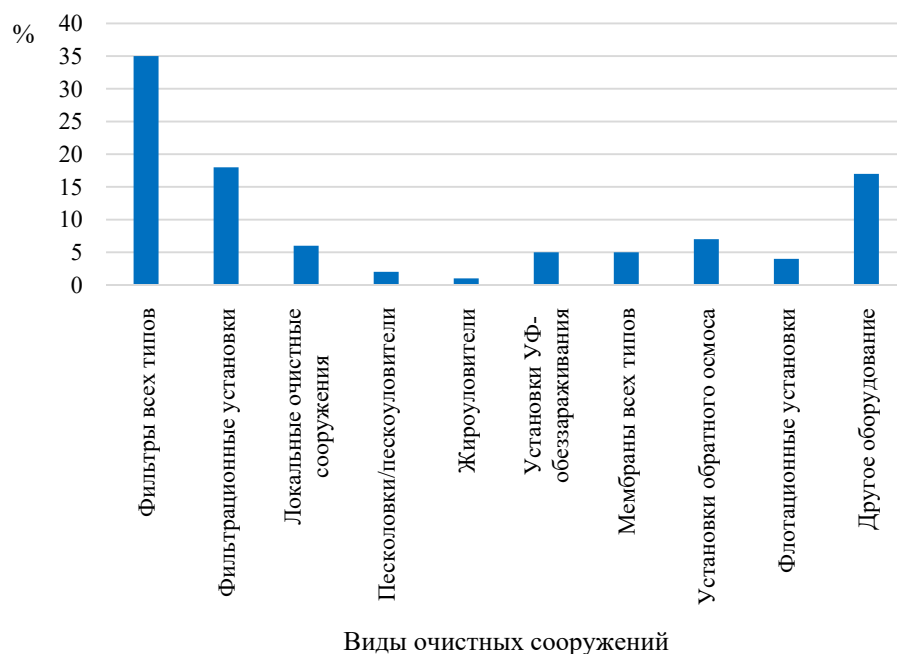


Рис. 5. Процентное соотношение типов водоочистных сооружений

Анализ рынка установок водоочистки (рис. 5) показал, что около 28 % оборудования приобреталось у иностранных производителей почти из 50 стран. Наибольшие объемы поставок были зарегистрированы из стран Евросоюза (рис. 6) — Германии (18 %), Италии и Франции (по 12 %), а также Китая (17 %) и США (6 %). Суммарная доля топ-5 стран-импортеров составила более 65 %. Доли конкретных компаний из указанных стран относительно невелики — каждая из них контролирует не более 2 % рынка [7].

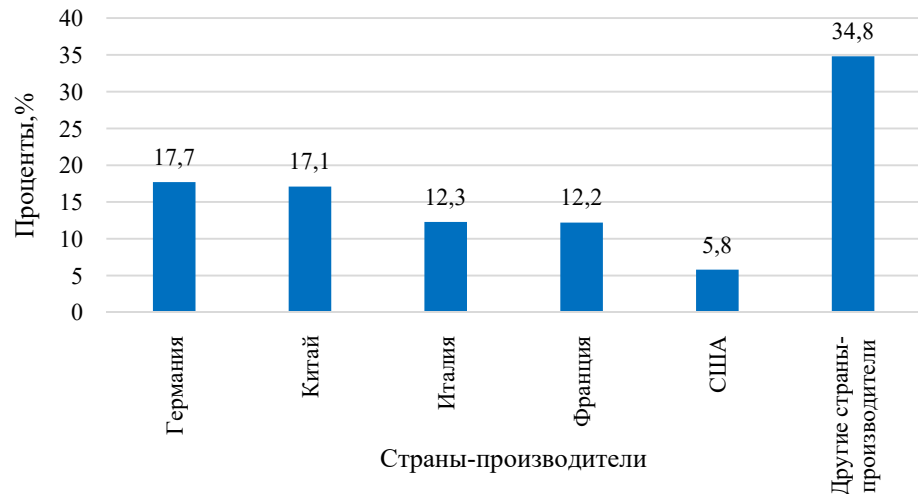


Рис. 6. Процентное соотношение стран-производителей ввезенного оборудования водоочистки в 2017 г.

Прогноз развития рынка

Исходя из позиции государства, направленной на сохранение и улучшение экологической ситуации в стране как приоритетной задачи, из анализа динамики изменения рынка в предыдущие 5 лет, можно предположить, что рынок установок водоочистки будет в дальнейшем расти как в стоимостном выражении на 8...10 % в год, так и в натуральном выражении (рис. 7).

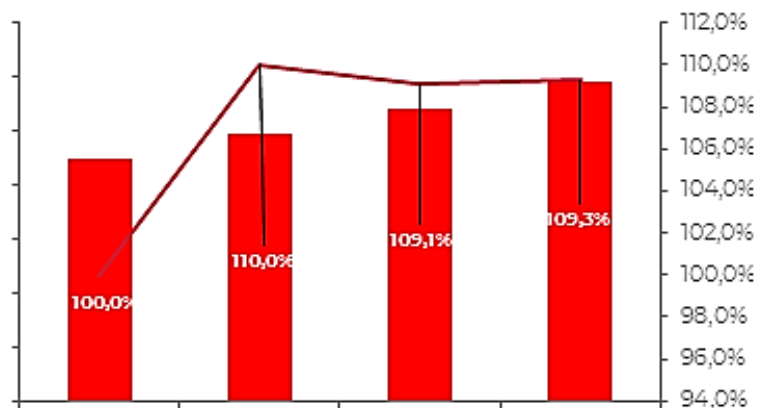


Рис. 7. Прогноз развития рынка водоочистных сооружений

При дальнейшем прогнозировании рост рынка водоочистки может сохранить свои темпы при условии восстановления российской экономики, что приведет к росту объемов продукции промышленных предприятий, к увеличению их мощности и необходимости модернизации или полной замене установленных на предприятиях устаревших систем водоочистки.

Применение оборудования с современными методами очистки стоков является решением экологической проблемы. Каждое промышленное предприятие в зависимости от отрасли имеет различный состав сточных вод, поэтому для эффективной очистки стоков необходим грамотный подход к выбору систем очистки. Установка должна быть максимально автоматизированной и многофункциональной, удовлетворять требованиям долговечности и ремонтпригодности, обладать приемлемой стоимостью.

По данным GIA, в 2020 г. объем мирового рынка очистных сооружений составил \$ 120,4 млрд. Основная проблема современных водоочистных сооружений — высокая стоимость эксплуатации. По данным Международной ассоциации по опреснению (IDA) в 2016—2019 гг. количество очистных сооружений и суточной обработки воды выросло на 12,4 и 41,2 %, соответственно [5]. В целях осуществления «нулевого сброса» загрязняющих веществ в окружающую среду и защиты от вторичного заражения вредными для человека бактериями и вирусами в мире принята концепция применения безотходных доступных технологий. Это требует капитальной модернизации существующих производств для минимизации экологического ущерба.

Решением проблемы является повторное применение сточных вод в технических целях. Некоторые регионы РФ не обладают достаточными запасами водных ресурсов, повторное использование очищенной воды может способствовать разрешению кризисной ситуации [9].

Основные направления использования регенерированной воды:

1. Орошение — полив растений, приусадебных участков, парковых зон, футбольных полей и т. д.
2. Бытовое назначение — мойка пешеходных дорожек, автомобильных дорог, питание системы отопления и т. д.
3. Применение на промышленных предприятиях в технологическом процессе, в системах отопления, пожаротушения и т. д.

В сложившейся ситуации необходимо при проектировании систем водоотведения разделять стоки на слабозагрязненные, не содержащие фекальных загрязнений, и сильнозагрязненные. Слабозагрязненные стоки отводят в локальные очистные сооружения, после очистки в которых они будут повторно использоваться для полива, мойки тротуаров и т. д. Повторное использование сточных вод позволит экономить на водоотведении порядка 60—70 %, а также на 30—40 % меньше потреблять воды за счет замкнутости цикла [10, 11].

Для локальных систем необходимы новые технологий очистки и дезинфекции, чтобы снизить содержание в воде патогенных микроорганизмов, тяжелых металлов, вредных веществ и выйти на требуемый уровень качества воды при относительно невысоких затратах [12]. Данные системы должны быть автоматизированными, не требовать постоянного присутствия обслуживающего персонала и использования химических дезинфицирующих веществ, увеличивающих эксплуатационные затраты системы водоочистки. Выполнение этих условий позволит локальным очистным сооружениям

повторного использования сточных вод успешно зайти на рынок и быть востребованными у потребителей.

Анализ электрофизических методов обеззараживания сточных вод

Анализ ситуации на рынке водоочистки обозначил основные направления развития отрасли в сторону локальных сооружений отечественного производства, характеризующихся минимальным потреблением электроэнергии, работающих в автоматическом режиме, с возможностью изменения дозы воздействия в зависимости от состава поступающих на очистку вод.

Этим требованиям соответствуют электрофизические методы воздействия, не требующие добавления химических препаратов в процессе обеззараживания: ультрафиолетовое (УФ) и ультразвуковое (УЗ) воздействие, обработка стоков СВЧ-излучением. Каждый из методов обеззараживания в отдельности не может обеспечить требуемого уровня очистки при непродолжительном цикле воздействия для удовлетворения требования энергоэффективности. Кроме того, каждый из них имеет специфические особенности эксплуатации. Следовательно, проектируемая установка очистки сточных вод должна комбинировать все перечисленные электрофизические методы воздействия, оптимально определяя последовательность, дозу и время облучения [12—17].

Совместное воздействие УЗ- и УФ-облучения позволит проводить более качественное обеззараживание за счет кавитационного эффекта. УФ-волна значительно затухает в плотных неоднородных средах, кроме того чехлы бактерицидных ламп подвержены обрастанию и загрязнению. При установке пьезоэлектрического генератора УЗ-волны позволят перемешивать сточные воды и очищать чехлы ламп, образуя кавитацию каверны будут дополнительно воздействовать на патогенные микроорганизмы, разрушая их (рис. 8) [12, 17—21].

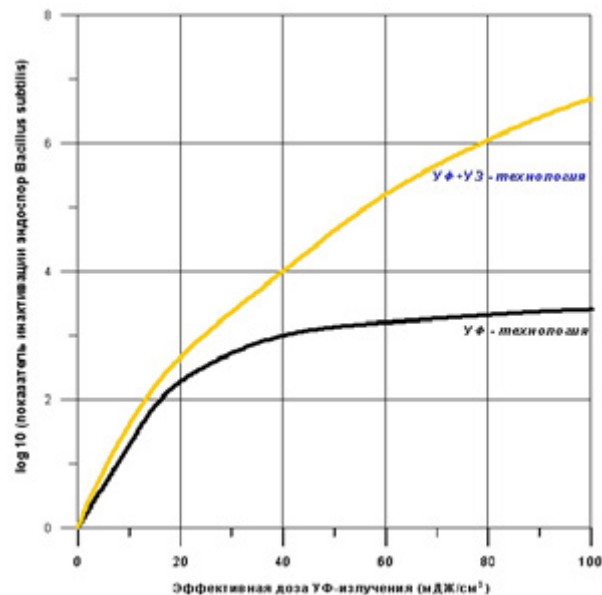


Рис. 8. Технология обеззараживания сточной воды использует одновременное воздействие ультрафиолета и ультразвука для инактивации патогенной микрофлоры

СВЧ-излучение широко применяется для обеззараживания медицинских отходов любых классов, обеспечивая практически полное подавление опасных вирусов и бактерий. Значительными недостатками данного метода является длительность процесса и значительная потребляемая мощность. Совмещение СВЧ-воздействия с УФ- и УЗ-излучением позволит сократить время обработки и уничтожить наиболее устойчивые к УФ- и УЗ-воздействию микроорганизмы [12, 20].

Среди паразитических патогенов, распространяющихся с водой, непосредственную угрозу человеку чаще всего представляют цисты лямблий и ооцисты криптоспоридий. В связи с высокой устойчивостью к окислению оболочки простейших долгое время считалось, что приемлемого средства борьбы с этими микроорганизмами не существует. Но при использовании СВЧ-поля для обеззараживания сточных вод наблюдается инактивация простейших уже при небольших дозах воздействия [12, 19]. Метод позволяет уничтожать различные виды бактерий и вирусов:

1. Вегетативные микроорганизмы: *E. coli*, *Staphilococcus*, *Streptococcus*, *Ps. aeruginosa*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Cholera*, *Typhus germs*, *Salm*.
2. Споры: *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Cereus*, *Bacillus Stearothermophilus*.
3. Грибы: *Candida albicans*.
4. Вирусы: грипп *A*, *Hepatitis A, B, C*, *Polio*.

При использовании нескольких электрофизических методов воздействия на индикаторные микроорганизмы будет наблюдаться усиление эффекта обеззараживания, инактивация микроорганизмов при меньшей дозе воздействия, чем при применении электрофизических методов по отдельности. Кроме того, при использовании комплекса электрофизических методов обеззараживания из-за различной чувствительности микроорганизмов будет деактивировано большее число разнообразных патогенных микробов [12].

Выводы

Проблема снабжения водой, отвечающей эпидемиологическим критериям, остро стоит во всем мире. Особенно критическая ситуация складывается в странах с небольшими запасами пресных вод. Решением проблемы является сохранения водных ресурсов и повторное использование обеззараженных сточных вод. Анализ рынка показал большой потенциал в развитии отрасли локальной водоочистки. Предложенные электрофизические методы обеззараживания стоков при комбинированном использовании могут решить проблему длительности процесса и снизить энергозатраты при повторной очистке стоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрана окружающей среды в России. 2020 : стат. сб. М. : Росстат, 2020. 113 с.
2. *Аверина Ю. М., Шенелева А. М., Субчаева Е. Н., Абаева Е. А.* Перспективы российского рынка систем водоподготовки в условиях кризиса // *Успехи в химии и химической технологии*. 2020. Т. 34. № 6(229). С. 72—74.
3. *Methods of intensification of iron-containing natural water purification processes / J. M. Averina, D. Y. Zhukov, A. Y. Kurbatov, G. E. Kaliakina, V. I. Panfilov // International Multidisciplinary Scientific: GeoConference SGEM*. 2018. Vol. 18. Iss. 2. Pp. 345—350.
4. *Selecting municipal wastewater treatment technologies for greenhouse gas emissions reduction: the case of Mexico for year 2030*. Mexico City, 2011. Pp. 2—5.
5. *US and Foreign Commercial Services. Doing Business in Brazil: 2011. Country Commercial Guide for US Companies*. Washington, 2011. Pp. 8—11.

6. Global water intelligence. URL: <https://www.globalwaterintel.com>.
7. *Абалкина И. Л., Соколов В. И.* Утилизация отходов в США // США: экономика, политика, идеология. 1988. № 7. С. 78—86.
8. *Авакян А. Б., Корсикова А. В.* Водные проблемы Канады // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1991. № 8. С. 25—43.
9. *Ахмедова О. О., Степанов С. Ф., Сошинов А. Г.* Определение оптимальных параметров воздействия комплекса электрофизических методов на патогенные микроорганизмы для интенсификации очистки сточных вод // Вестник СГТУ. 2012. Т. 2. № 1. С. 79—85.
10. *Лаврентьева Н. М., Часовников А. П.* Эффективный способ улучшения качества очистки сточных вод сельских населенных пунктов // Эффективные технологии утилизации отходов предприятий агропромышленного комплекса страны: материалы межвузовской науч.-практ. конф. М.: РГАЗУ, 2015. 96 с.
11. *Нездойминов В. И., Бескровная М. В., Хабту Т.* Экологические аспекты в технологии водного хозяйства коксохимии // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2005. Вып. 2(50). с. 34—37.
12. *Ахмедова О. О., Степанов С. Ф., Сошинов А. Г.* Разработка схемы локальной установки очистки сточных вод с определением оптимальной последовательности воздействия электрофизических методов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 206.
13. Внедрение технологии и бессточного замкнутого оборотного водоснабжения на ОАО «Запорожжокс» / Б. И. Войтенко, В. Н. Рубчевский, И. Н. Ивко, Ю. А. Чернышов, В. С. Шарагин, Г. В. Слепцов, Е. С. Лисогор // Кокс и химия. 2004. № 1. С. 37—39.
14. *Xianjun Du.* Multi-objective pity beetle algorithm based optimal control of wastewater treatment process // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 170. Pp. 188—206.
15. *Chang P., Ke J.* Multi-objective Pigeon-inspired Optimized feature enhancement soft-sensing model of Wastewater Treatment // Separation and Purification Technology. 2022. Vol. 308. Art. 122884
16. *Han H.-G., Bai X., Qiao J.-F.* Adaptive multi-task optimization strategy for wastewater treatment process // Journal of Process Control. 2022. Vol. 119. Pp. 44—54.
17. *Павлов Д. В., Вараксин С. О., Аверина Ю. М.* Современная ресурсосберегающая система очистки промышленных сточных вод // Водоочистка. 2012. № 1. С. 10—14.
18. *Wang C., Wang W., An T.* Distribution characteristics, air-water exchange, ozone formation potential and health risk assessments of VOCs emitted from typical coking wastewater treatment // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 862. Art. 160845
19. *Nguyen T., Son T., Hans S., Le H.* Combination of biochar filtration and ozonation processes in livestock wastewater treatment and application for soil cultivation // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2022. Vol. 7. Art. 100286.
20. *Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В.* Использование импульсного тока для очистки промывных вод от примесей цинка // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 213—219.
21. 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 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 61—72.

© Ахмедова О. О., Сошинов А. Г., Вирт А. Э., Вдовиченко В. В., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Ахмедова О. О., Сошинов А. Г., Вирт А. Э., Вдовиченко В. В. Анализ рынка водоочистных сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 107—117.

Об авторах:

Ахмедова Ольга Олеговна — старший преподаватель каф. электроснабжения промышленных предприятий, Камышинский технологический институт — филиал Волгоградского государственного

ного технического университета (ВолГТУ). Российская Федерация, г. Камышин, 403874, ул. Ленина, 6а

Сошинов Анатолий Григорьевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. электроснабжения промышленных предприятий, Камышинский технологический институт — филиал Волгоградского государственного технического университета (ВолГТУ). Российская Федерация, 403874, г. Камышин, ул. Ленина, 6а; epp@kti.ru

Вирт Андрей Эдуардович — канд. техн. наук, зав. каф. ТМиПМ, Камышинский технологический институт — филиал Волгоградского государственного технического университета (ВолГТУ). Российская Федерация, 403874, г. Камышин, ул. Ленина, 6а; virt@kti.ru; ORCID: 0000-0002-1594-830X

Вдовиченко Вячеслав Вадимович — преподаватель каф. электроснабжения промышленных предприятий, Камышинский технологический институт — филиал Волгоградского государственного технического университета (ВолГТУ). Российская Федерация, 403874, г. Камышин, ул. Ленина, 6а

Olga O. Akhmedova, Anatoly G. Soshinov, Andrey E. Virt, Vyacheslav V. Vdovichenko

Kamyshyn Technological Institute — branch of Volgograd State Technical University (VSTU)

ANALYSIS OF THE WATER TREATMENT PLANT MARKET

The strengthening of control over water resources by the state and large fines for dumping poorly treated wastewater into reservoirs force the heads of enterprises to pay attention to water treatment systems. As a result, the market of water treatment plants has grown significantly over the past few years. The article analyzes the market situation, identifies the main players in the industry and presents the trend for the future period. A set of the most effective methods of electrophysical exposure is proposed, which allows to reduce the duration of processing and achieve the required quality indicators when the installation is operating in automatic mode.

Key words: wastewater treatment, water treatment plants, reuse, the market of water treatment plants, ultraviolet, ultra-sound, microwave treatment.

For citation:

Akhmedova O. O., Soshinov A. G., Virt A. E., Vdovichenko V. V. [Analysis of the water treatment plant market]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 107—117.

About authors:

Olga O. Akhmedova — Senior Lecturer, Kamyshyn Technological Institute — branch of Volgograd State Technical University (VSTU). 6a, Lenina st., Kamyshyn, 403874, Russian Federation

Anatoly G. Soshinov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Kamyshyn Technological Institute — branch of Volgograd State Technical University (VSTU). 6a, Lenina st., Kamyshyn, 403874, Russian Federation; epp@kti.ru

Andrey E. Virt — Candidate of Engineering Sciences, Kamyshyn Technological Institute — branch of Volgograd State Technical University (VSTU). 6a, Lenina st., Kamyshyn, 403874, Russian Federation; virt@kti.ru; ORCID: 0000-0002-1594-830X

Vyacheslav V. Vdovichenko — Lecturer, Kamyshyn Technological Institute — branch of Volgograd State Technical University (VSTU). 6a, Lenina st., Kamyshyn, 403874, Russian Federation

УДК 628.16

Д. А. Бутко^а, Л. Н. Фесенко^б, О. П. Шишова^а

^а *Донской государственный технический университет*

^б *Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М. И. Платова*

РЕАГЕНТНОЕ ОСВЕТЛЕНИЕ ПРОМЫВНЫХ ВОД ФИЛЬТРОВ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ ДОНА

Рассматриваются результаты исследования применения минеральных коагулянтов и органических флокулянтов для очистки воды обратной промывки песчаных фильтров, составляющих до 2/3 объема сброса сточных вод станций водоподготовки. Обработке подвергались промывные воды фильтров станций водоподготовки с двухступенчатой очисткой воды, использующих флокулянт полиДАДАМАХ для осветления вод поверхностных источников. Выполнен комплекс исследований эффективности коагулянтов (полиоксихлориды алюминия) и флокулянтов на основе полиакриламида с катионным или анионным зарядом. Показано, что основность коагулянтов не влияет на эффективность осветления. Оптимальные дозы полиоксихлоридов в зависимости от режима перемешивания и вида коагулянта находятся в пределах 4...8 мг/дм³ по Al₂O₃. Установлены графические зависимости доз реагентов и эффекта осветления от интенсивности перемешивания в трубопроводах промывной канализации и оптимальные параметры перемешивания в сооружениях повторного использования, обеспечивающие заданное (необходимое) качество воды после отстаивания. Особенностью изученных промывных вод является возможность их осветления до 96...98 % по эффективности относительно низкими дозами флокулянта 0,25...1,5 мг/дм³. Градиент скорости более 30 с⁻¹ на этапе перемешивания снижает эффективность применения флокулянта, что следует учитывать при проектировании сооружений очистки промывных вод.

К л ю ч е в ы е с л о в а: коагулянт, флокулянт, повторное использование, скорый фильтр.

Введение

Сброс неочищенных сточных вод в поверхностные водоемы России в 2010—2017 гг. находился в пределах от 2503,45 до 3416,60 млн м³. Несмотря на тенденцию к снижению объемов неочищенных вод и уменьшению концентраций загрязнений в ней, в 2017 г. сброшено в поверхностные водоемы 188 645 т взвешенных веществ, 504,98 т алюминия (по Al³⁺) и 2137,02 т железа (Fe²⁺, Fe³⁺ — все растворимые в воде формы), являющихся одними из основных составляющих загрязнений промывных вод станций водоподготовки. Сточные воды сооружений водоподготовки на 99 % представлены сбросными водами от отстойников или осветлителей со слоем взвешенного осадка и промывки скорых песчаных фильтров.

Использование воды обратной промывки песчаных фильтров, составляющей до 2/3 объема всех сточных вод станций водоподготовки, для нужд станции водоподготовки, в частности возврат в основной поток или для промывки фильтров, — общепринятая практика для многих стран. В России разрабатывались и строились различные схемы обработки промывных вод как без использования реагентов, так и с применением полиакриламида для интенсификации процессов осветления. Опубликованы исследования обработки промывных вод в условиях применения на станции водоподготовки минеральных коагулянтов сернокислого алюминия [1]. С 1990-х гг. многие

станции юга России стали применять вместо сернокислого алюминия высокомолекулярный флокулянт типа полиДАДАМАХ [2]. В таких условиях изменились качественные показатели промывных вод, седиментационные и иные характеристики [3]. Исследования, проведенные по осветлению без применения реагентов, показали, что время отстаивания до заданного эффекта осветления не является постоянной величиной. Оно зависит от начального содержания взвешенных веществ, температуры воды, высоты слоя отстаивания и параметров перемешивания промывной воды [4].

Интенсификации процессов коагуляции и стабилизации времени осветления способствует введение в обрабатываемую воду коагулянтов или флокулянтов [5—9]. Подготовка промывных вод к мембранной фильтрации с использованием коагулянтов (флокулянтов) — один из вариантов их применения. В частности, Huang [10], вводя оксихлорид алюминия, оптимизировал (регулировал) процесс коагуляции промывных вод и распределение хлопьев по размерам для последующей мембранной фильтрации. На станции водоподготовки в Исфахане (Иран) выполнены исследования осветления промывных вод полиалюминевым хлоридом железа и хлоридом железа, в результате которых установлен оптимальный диапазон рН и преимущество комплексного реагента над хлоридом железа по оптимальной дозе более чем вдвое [11]. Brazão [12] сообщает, что коагуляция полиоксихлоридом алюминия дозой 12 мг/дм³ по иону алюминия при времени флокуляции 15 мин обеспечивает удаление 86 % содержащихся взвешенных веществ. Совместная обработка промывных вод с флокулянтom или введение смеси оксихлорида алюминия с сернокислым алюминием в различных соотношениях, по мнению Г. С. Качаловой, наиболее эффективно как зимой, так и летом [13].

Целью исследования было определение эффективности применения коагулянтов на основе солей алюминия и флокулянтов различных составов при осветлении и обесцвечивании промывных вод скорых фильтров отстаиванием. Станции водоподготовки используют для осветления воды реки Дон высокомолекулярные флокулянты типа полиДАДАМАХ.

1. Материалы и методы

1.1. Материалы и реагенты

Использовали коагулянты промышленного качества: «Полвак-40», «Полвак-68» — гидроксихлорид алюминия (Украина, ОАО «Пологовский химический завод «Коагулянт», г. Пологи); «Аква-Аурат 30» — полиоксихлорид алюминия в твердой форме (РФ, АО «Аурат», г. Москва); «БОПАК-Е» — оксихлорид алюминия в жидком виде (РФ, МУП «Азовводоканал», Ростов-на-Дону). Характеристики коагулянтов представлены в табл.

Характеристика коагулянтов

Показатели	Полвак-40	Полвак-68	Аква-Аурат 30	БОПАК-Е
Массовая доля основного вещества в пересчете на Al ₂ O ₃ , %, не менее	15	10	30	17
Относительная основность, %	35...45	65...72	—	83
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,23...1,40	1,23...1,40	—	1,27
Массовая доля хлоридов, %	5...20	5...20	—	6,2

Флокулянты использовались поставляемые для станций водоподготовки: полиакриламид анионный (РФ, ООО «НПО Полифлок», г. Ленинск-Кузнецкий), «Magnafloc LT» (Швейцария, Ciba Specialty Chemicals):

неионогенные — LT1253, LT20;

катионные — LT24, LT22, LT22S;

анионные — LT25, LT25S, LT253, LT26, LT27, LT27A9, LT28, LT30.

1.2. Отбор проб воды

Образцы промывной воды отбирались из сборного лотка в скорых фильтрах Центрального и Александровского водопроводов Ростова-на-Дону, Донского водопровода Таганрога. Песчаные фильтры Центрального и Александровского водопроводов Ростова-на-Дону промываются примерно каждые 12 ч, Донского водопровода Таганрога — примерно каждые 24 ч. Неочищенная вода содержала: взвешенные вещества в пределах 43,82...586 мг/дм³, ее цветность составляла 35—120 град ПКШ, pH — в интервале 8,09...8,47, щелочность — 2,8...4,0 мг-экв/дм³. Остаточные концентрации применяемых на станциях реагентов: свободный хлор в интервале 0,43...0,93 мг/дм³, флокулянт типа «полиДАДМАХ» от менее 0,02 до 0,23 мг/дм³.

На станциях реализована двухступенчатая схема очистки природной воды, состоящая из флокуляции с использованием реагента типа полиДАДМАХ (ВПК-402, FL-4540PWG), отстаивания и фильтрования через песчаную загрузку. Промывные воды обрабатывались реагентами с перемешиванием на установке типа Jar-test и отстаиванием.

1.3. Эксперименты

Варьируемыми показателями в исследованиях считались: содержание взвешенных веществ в исходной воде, цветность, температура, pH, критерий Кэмпбелла, вид и доза реагента. Результатами — мутность и цветность отстоянной воды. Интенсивность и длительность перемешивания в экспериментах получены на основании анализа работы сооружений водоподготовки юга РФ [3], а также рекомендаций нормативных документов для смесителей и камер хлопьеобразования.

На очистных сооружениях Александровского и Центрального водопроводов Ростова-на-Дону полиоксихлориды алюминия «Полвак-40» (среднеосновный коагулянт) и «Аква-Аурат 30» (низкоосновный коагулянт) при обработке промывной воды испытывались с дозами 1...5 мг/дм³ по Al₂O₃ и критериях Кэмпбелла 2300...9600. Коагулянты вводились в воду в виде 1%-го по Al₂O₃ раствора с последующим перемешиванием лопастными мешалками в установке Jar-test.

На очистных сооружениях Донского водопровода Таганрога полиоксихлориды алюминия «Полвак-68» (высокоосновный коагулянт), «БОПАК-Е» (высокоосновный коагулянт), «Аква-Аурат 30» вводились в виде 0,1%-го раствора по Al₂O₃. Режим перемешивания принят единый для всех реагентов GT 25200 (смешение $G = 90 \text{ с}^{-1}$ и $T = 120 \text{ с}$, перемешивание $G = 40 \text{ с}^{-1}$ и $T = 360 \text{ с}$).

На очистных сооружениях Александровского и Центрального водопроводов Ростова-на-Дону, Донского водопровода Таганрога исследовалась эффективность применения флокулянтов полиакриламид анионного производства РФ и «Magnafloc LT».

Перемешивание выполнялось в следующих режимах:

ГТ 14400 ($G = 20 \text{ с}^{-1}$, $T = 120 \text{ с}$) с последующим отстаиванием в течение 60 мин;

ГТ 25200 (смешение $G = 90 \text{ с}^{-1}$, $T = 120 \text{ с}$; перемешивание $G = 40 \text{ с}^{-1}$, $T = 360 \text{ с}$).

Все опыты проводились не менее чем в 3 повторениях.

Ввод реагентов осуществлялся градуированными пипетками или дозаторами переменного объема. Время отстаивания во всех экспериментах принято по результатам предыдущих исследований 45 мин [3, 4]. Проба по окончании отстаивания отбиралась пробоборником на глубине не менее 5 мм от поверхности воды и направлялась на физико-химический анализ.

1.4. Анализ проб

Мутность определяли на электрофотокориметре КФК-3 или КФК-2МП (РФ, АООТ «Загорский оптико-механический завод») при длине волны 860 нм. Цветность воды определялась после фильтрования пробы через фильтр 0,45 мкм на КФК-3 или КФК-2МП при длине волны 410 нм. Содержание остаточного активного хлора производили в фильтрованной воде йодометрическим методом. Содержание алюминия в воде определялось фотометрическим способом с использованием алюминона. В исследовании использовались методики физико-химического анализа, соответствующие стандартам РФ.

1.5. Обработка результатов

С целью снижения факторов для анализа мутность и цветность отстоянной воды выражены:

эффект осветления

$$E_8 = \frac{M_1 - M}{M_1} 100 \%,$$

эффект обесцвечивания

$$E_r = \frac{C_1 - C}{C_1} 100 \%,$$

где M_1 и M — содержание взвешенных веществ в исходной и отстоянной воде соответственно, г/м³ (принято для мутности менее 20 г/м³ равенство содержания взвешенных веществ в воде и ее мутности); C_1 и C — цветность в исходной и отстоянной воде соответственно, градусов платиново-кобальтовой шкалы.

Статистический анализ выполнен с использованием пакета анализа Microsoft Excel 2013 и Statistica 7.0 или 11.0. Обработка экспериментальных данных включала в себя статистическую обработку с определением «выбросов», нахождением среднего и вычислением среднеквадратичного отклонения по ряду.

Аппроксимация результатов по параметрам «доза реагента» или «критерий Кэмпбелла» производилась с использованием линейной, полиномиальной и степенной моделей. Выбор моделей для аппроксимации основан на результатах предыдущих исследований [1—5], а достоверность аппроксимации оценивалась по величине квадрата корреляции Пирсона. Кроме того,

полученная кривая аппроксимации не должна принимать отрицательных значений и значений более 100 % в интервале исследуемых доз или критерия Кэмпса.

2. Результаты

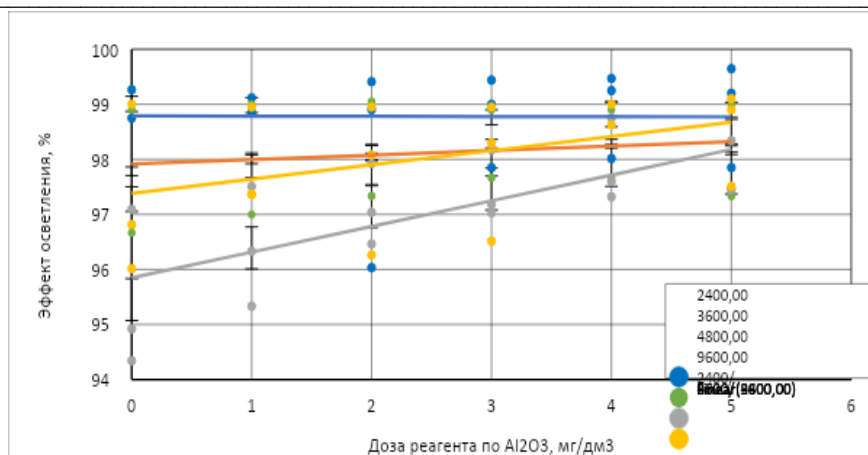
2.1. Обработка промывных вод коагулянтами

Эффективность осветления промывной воды, обработанной полиоксидом алюминия «Полвак-40», с ростом градиента скорости изменяется незначительно, а при дозе равной или выше 3 мг/дм³ по Al₂O₃ отклонения не превышают ошибку измерений (рис. 1, а). При этом минимум на кривых «Эффект-ГТ» наблюдается в диапазоне ГТ 5500...6500. Зависимость эффекта осветления от дозы при ГТ = const для «Полвак-40» в исследовании показала оптимальную дозу для всех моделируемых режимов 3,5...4,5 мг/дм³ по Al₂O₃. Дальнейшее увеличение дозы реагента не оказывает значимого влияния на процесс осветления.

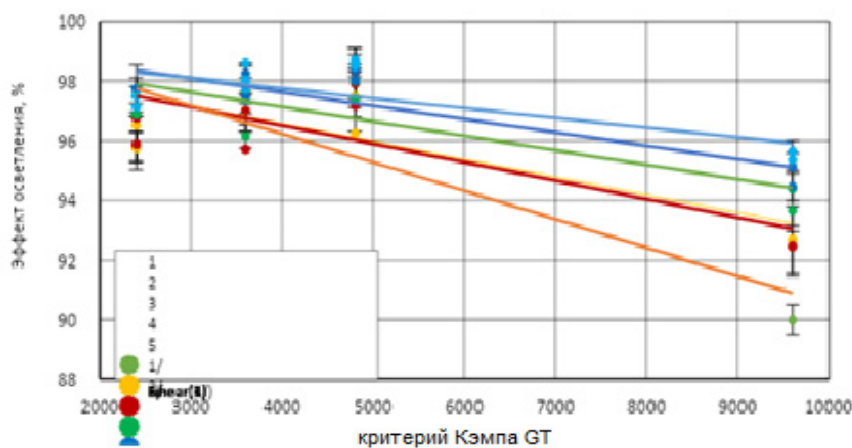
В отличие от «Полвак-40» коагулянт «Аква-Аурат 30» при постоянной дозе демонстрирует зависимость эффекта осветления от критерия Кэмпса (далее ГТ) в виде полиномов 2-й степени с максимумами в интервале ГТ 4000...5000 (рис. 1, б). Изменение дозы коагулянта при режимах перемешивания, характеризующихся ГТ 2400...9600, происходит по полиному 2-й степени без выраженного максимума, но с минимумами на кривых ГТ 3600 и 4800 при дозе ~2,0 мг/дм³ по Al₂O₃. При всех выбранных режимах перемешивания максимум эффекта наблюдается в районе дозы ~5,0 мг/дм³ по Al₂O₃, однако значительный рост кривой характерен только для ГТ 9600. В остальных режимах введения реагента изменяется эффект осветления не более чем на 1 %. Эффект осветления возрастает в ряду режимов перемешивания ГТ 9600—2400—3600—4800.

Обесцвечивание промывной воды с применением «Полвак-40» с увеличением критерия Кэмпса изменяется в общем случае по полиному 2-й степени со снижением эффекта с ростом ГТ. Аппроксимация результатов экспериментов для доз 3 и 5 мг/дм³ низкая. Повышение степени полинома до 3-й и более хотя и дает высокие значения коэффициента Пирсона, но кривая выходит за пределы 100 %, что неприемлемо. Увеличение дозы коагулянта приводит к росту эффективности обесцвечивания также по полиномиальному закону с высокой степенью корреляции (рис. 2, а). При перемешивании соответствующим ГТ 2400 и 9600 оптимальную дозу установить не представляется возможным из-за отсутствия максимума на кривых. Оптимальной дозой коагулянта «Полвак-40» для режимов перемешивания, соответствующим ГТ 4800 и 3600, следует считать ~4,0 мг/дм³ по Al₂O₃.

Использование «Аква-Аурат 30» для снижения цветности промывной воды показывает обратную картину коагулянту «Полвак-40». В общем случае полученные результаты удовлетворительно аппроксимируются полиномами 2-й степени (рис. 2, б). Полиномиальные зависимости с увеличением дозы коагулянта более четко проявляют перелом в зоне максимума эффекта обесцвечивания при ГТ в пределах 6700...7300. С ростом дозы коагулянта эффект обесцвечивания стабильно увеличивается, а лучшие результаты достигнуты при режимах перемешивания ГТ 4800 и ГТ 9600. Определить оптимальную дозу в данном случае не представляется возможным.



a



b

Рис. 1. Изменение эффекта осветления в зависимости от дозы и параметров перемешивания: *a* — «Полвак-40», *b* — «Аква-Аурат 30»

В обработанной реагентами воде содержание хлора изменялось в зависимости от дозы реагента (1 и 5 мг/дм³ соответственно по Al₂O₃) и составило для:

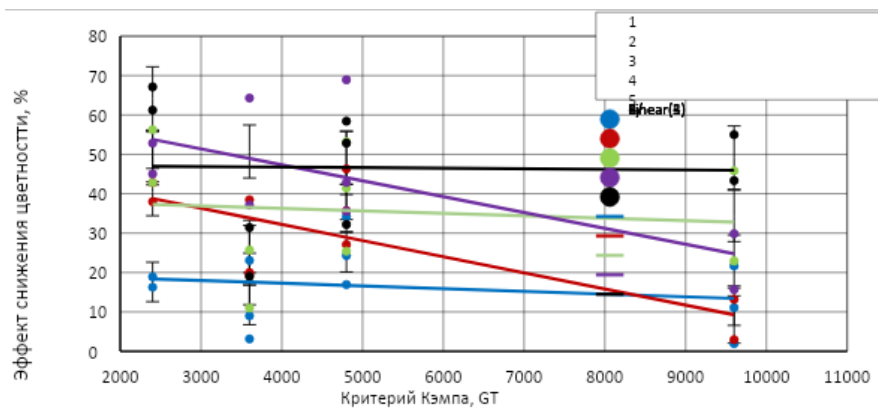
- «Полвак-40» — 0,48±0,46 мг/дм³ и 0,32±0,27 мг/дм³;
- «Аква-Аурат 30» — 0,29±0,19 мг/дм³ и 0,17±0,10 мг/дм³. Остаточный алюминий в отстоянной воде не превышал 0,15 мг/л по Al³⁺.

На очистных сооружениях Донского водопровода Таганрога выполнена серия экспериментов по применению для осветления промывных вод алюминийсодержащих реагентов: «Полвак-68» (высокоосновный коагулянт), «БОПАК-Е» (высокоосновный коагулянт), «Аква-Аурат 30».

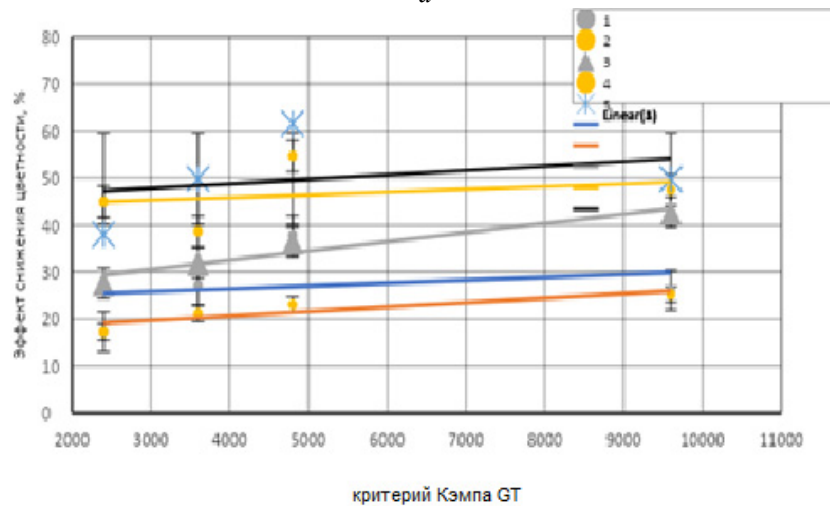
В результате серии экспериментов с оксихлоридом алюминия «Полвак-68» получена аппроксимирующая кривая зависимости эффекта осветления от дозы коагулянта, выраженной по Al₂O₃ (рис. 3). На кривой четко виден перелом в районе дозы 5 мг/дм³ с незначительным колебанием относительно значения эффекта осветления 98,5 % при дальнейшем увеличении дозы.

Следовательно, оптимальной дозой при обработке исследованных вод с заданным режимом перемешивания следует считать 5 мг/дм^3 по Al_2O_3 .

Оксид алюминия «БОПАК-Е» относится к высокоосновным коагулянтам, но в сравнении с другими коагулянтами показал меньшую эффективность при равных условиях обработки промывной воды. Форма аппроксимирующей кривой эффекта осветления от дозы «БОПАК-Е» отличается от такой же зависимости при введении «Полвак-68» (см. рис. 3) менее выраженной точкой перелома и общим видом кривой. Определение оптимальной дозы в этом случае представляет определенные трудности, но для данного режима она может быть принята в интервале от 5 до 7 мг/дм^3 по Al_2O_3 . После обработки опытных данных получена аппроксимирующая кривая эффекта осветления от дозы коагулянта «Аква-Аурат 30» в виде полинома 3-й степени. Данный реагент по эффективности осветления занимает промежуточную позицию между «Полвак-68» и «БОПАК-Е», а оптимальную дозу коагулянта следует принять в интервале от 5 до 6 мг/дм^3 по Al_2O_3 (см. рис. 3).



а



б

Рис. 2. Изменение эффекта обесцвечивания в зависимости от дозы и параметров перемешивания: а — «Полвак-40»; б — «Аква-Аурат 30»

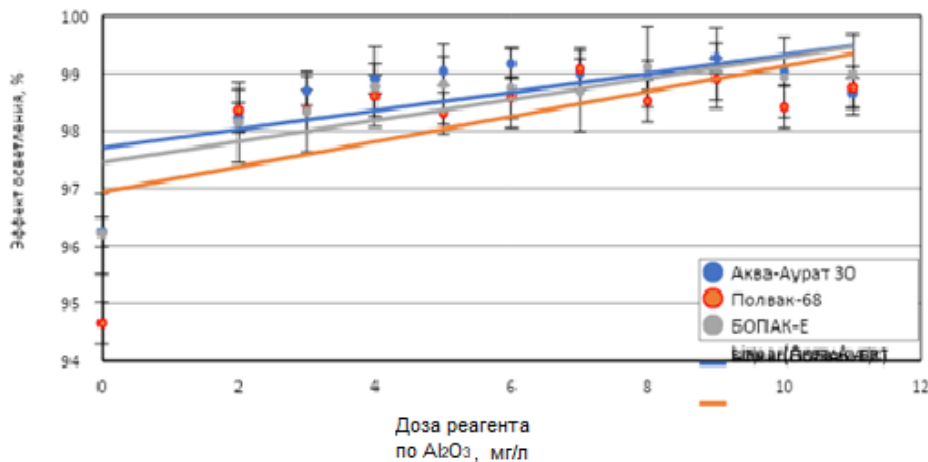


Рис. 3. Изменение эффекта осветления в зависимости от дозы коагулянтов «Аква-Аурат 30», «Полвак-68» и «БОПАК-Е»

Анализ полученных результатов по коагулянтам не выявил зависимости эффекта осветления от параметра «основность». Выбор марки коагулянта необходимо производить на основании оценки реального или проектного режима перемешивания в транспортирующих трубопроводах (и в СПИПВ) и необходимого эффекта осветления (обесцвечивания) промывных вод.

2.2. Обработка промывных вод флокулянтами

Осветление промывных вод скорых фильтров при очистке вод с использованием флокулянтов, а именно его рекомендовали длительное время нормативные документы, стало целью еще одной серии экспериментов.

Промывные воды очистных сооружений Донского водопровода Таганрога обрабатывались 12 видами флокулянтов марки «Magnafloc LT» с GT 25200 (соответствует гидродинамическому режиму движения промывных вод от фильтров к сооружениям по их обработке). Полученные результаты по форме аппроксимирующей кривой «доза реагента — эффект осветления» могут быть сгруппированы:

1) кривая при определенной дозе реагента достигает своего максимума, дальнейшее увеличение дозы реагента не влияет (или практически не влияет) на величину эффекта осветления: LT26, LT20, LT28, LT253, LT22S, LT24, LT27A9, LT25S, LT30. Примеры зависимостей «эффект осветления-доза» представлены на рис. 4, 5 с аппроксимацией экспериментальных данных по степенной модели. Точкой перелома кривой (фактически — минимальной достаточной дозой для достижения максимально возможного эффекта осветления при данном режиме перемешивания или оптимальной дозой) являются значения: LT26 ($\sim 0,25$ мг/дм³) ← LT28 ($\sim 1,00$ мг/дм³); LT253 ($\sim 1,00$ мг/дм³); LT22S ($\sim 1,00$ мг/дм³) ← LT30 ($\sim 1,10$ мг/дм³) ← LT20 ($\sim 1,20$ мг/дм³) ← LT25S ($\sim 1,25$ мг/дм³) ← LT27A9 ($\sim 1,40$ мг/дм³) ← LT24 ($\sim 1,50$ мг/дм³);

2) кривая имеет максимум на графике с последующим падением линии к минимальному значению: LT27, LT1253, LT22 (рис. 4, 5) с аппроксимацией экспериментальных данных по полиномиальной модели 3-й степени. В этом случае максимальные значения эффекта осветления соответствуют дозам флокулянта LT27

(~1,25 мг/дм³); LT1253 (~1,50 мг/дм³); LT22 (~1,50 мг/дм³). Дальнейшее увеличение дозы флокулянта приводит к увеличению мутности отстоянной воды.

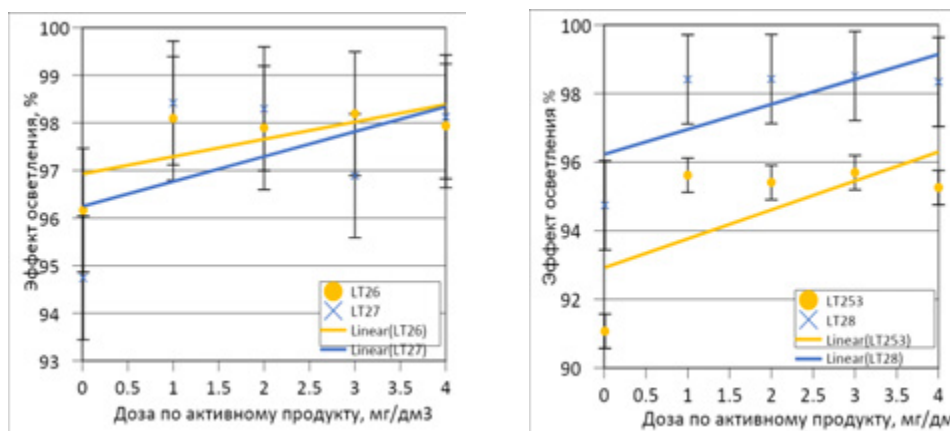


Рис. 4. Изменение эффекта осветления в зависимости от дозы флокулянтов на основе полиакриламидов марки «Magnafloc LT» (очистные сооружения Таганрога), ч. 1

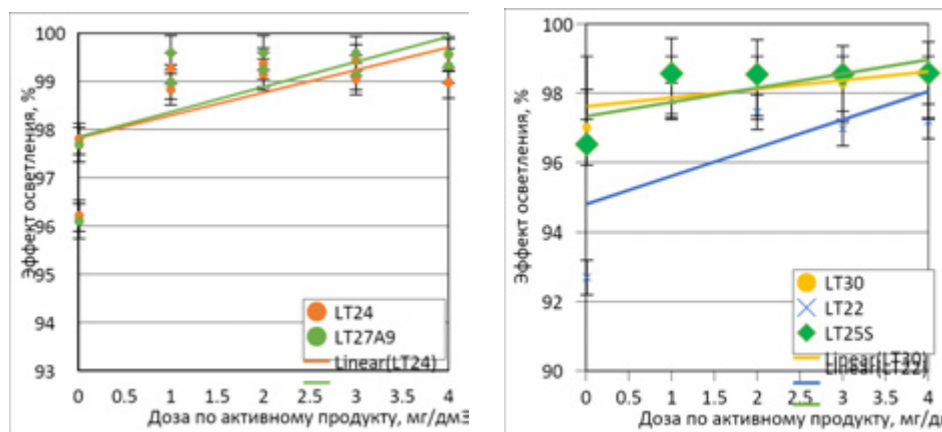


Рис. 5. Изменение эффекта осветления в зависимости от дозы флокулянтов на основе полиакриламидов марки «Magnafloc LT» (очистные сооружения Таганрога), ч. 2

В процессе обработки природной воды на станциях водоподготовки флокулянт типа полиДАДАМАХ с низкой молекулярной массой и высокой плотностью заряда (6,2 мг-экв/г) происходит образование хлопьев в процессе адсорбции на отрицательных поверхностях частиц полимерной цепочки по механизму «электростатического пятна» [14]. При этом происходит нейтрализация заряда частицы до близкого к нейтральному с образованием областей положительного заряда. Вследствие этого использование для осветления промывных вод скорых фильтров анионных флокулянтов (LT26, LT28 и т. д.) наиболее эффективно.

Дискуссия и выводы

Промывные скорых фильтров станций водоподготовки, использующих для осветления природных вод флокулянт типа полиДАДАМАХ, содержат значительное количество взвеси и остаточные концентрации реагента.

Интенсификация осветления таких вод реагентами — один из способов их очистки для последующей утилизации.

Высокая эффективность осветления промывных вод на изученных станциях водоподготовки достигается при дозах полиоксихлорида в 2,5—3 раза меньших чем, например, в исследованиях Ebrahimi [15] (4...5 мг/дм³ против 15 мг/дм³). Исследование реагентного осветления промывных вод оксихлоридами алюминия различной основности, флокулянтов (неионогенных, катионных и анионных) отечественных и зарубежных фирм-производителей позволило определить их оптимальные дозы и эффективность осветления на промывных водах объектов исследования. Сравнение коагулянтов в одинаковых параметрах перемешивания (значения критерия Кэмп) и дозах по активной части не продемонстрировало преимуществ высокоосновных коагулянтов над средне- и низкоосновными. Установлены графические зависимости доз реагентов и эффекта осветления от интенсивности перемешивания в трубопроводах промывной канализации, а также оптимальные параметры перемешивания в сооружениях повторного использования, обеспечивающие заданное (необходимое) качество воды после отстаивания.

Особенностью изученных промывных вод является возможность их осветления до 96...98 % по эффективности относительно низкими дозами флокулянта 0,25...1,5 мг/дм³. В тоже время градиенты скорости более 30 с⁻¹ на этапе перемешивания снижают эффективность применения флокулянта, что следует учитывать при проектировании сооружений очистки промывных вод. Считаем, что в процессе применения флокулянта типа полиДАДАМАХ для осветления природных вод происходит образование хлопьев по механизму «электростатического пятна» [14] и этим обуславливается преимущество анионных флокулянтов (ЛТ26, ЛТ28 и т. д.) перед катионными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Урванцева М. И.* Обработка промывных вод и осадков водопроводных станций, расположенных на источниках малой и средней мутности и цветности : автореф. дис... канд. техн. наук. Новосибирск : Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2011. 20 с.
2. *Моктар А. А.* Исследование оптимальных условий и эффективности применения катионного флокулянта ВПК-402 при очистке воды реки Дон : автореф. дис... канд. техн. наук. Ростов н/Д : РГСУ, 1998. 23 с.
3. *Бутко Д. А.* Промывные воды скорых фильтров и их повторное использование : монография. Ростов н/Д : РГСУ, 2009. 121 с.
4. *Butko D. A., Volodina M. S.* Regularities of rapid filter backwash water clarification in reagent-free mode // Magazine of Civil Engineering. 2022. Vol. 111. No. 3. Art. 11107. DOI: 10.34910/MCE.111.7.
5. *Бутко Д. А., Лысов В. А., Родионова А. Б.* Реагентное осветление промывных вод скорых фильтров // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 9. С. 53—56.
6. *Bourgeois J. C., Walsh M. E., Gagnon G. A.* Treatment of drinking water residuals: Comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios // Water Research. 2004. Vol. 38. No. 5. Pp. 1173—1182.
7. Hybrid coagulation-UF processes for spent filter backwash water treatment : a comparison studies for PAFCl and FeCl₃ as a pre-treatment / A. Ebrahimi, M. M. Amin, H. Pourzamani, Y. Hajizadeh, A. H. Mahvi, M. Mahdavi, M. H. R. Rad // Environmental Monitoring and Assessment. 2017. Vol. 189. No. 8. DOI: 10.1007/s10661-017-6091-3.
8. *Skolubovich Y., Voytov E., Skolubovich A., Ilyina L.* Cleaning and reusing backwash water of water treatment plants // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. No. 1. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012035.

9. *Mazari L., Abdessemed D.* Feasibility of Reuse Filter Backwash Water as Primary/Aid Coagulant in Coagulation-Sedimentation Process for Tertiary Wastewater Treatment // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2020. DOI: 10.1007/s13369-020-04597-1.
10. Effect of coagulation mechanism on membrane permeability in coagulation-assisted micro-filtration for spent filter backwash water recycling / C. Huang, J. L. Lin, W. S. Lee, J. R. Pan, B. Zhao // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2011. Vol. 378. No. 1—3. Pp. 72—78.
11. Filter backwash water treatment by coagulation: A comparison study by polyaluminum ferric chloride and ferric chloride / A. Ebrahimi, M. M. Amin, Y. Hajizadeh, H. Pourzamani, M. Memarzadeh, A. H. Mahvi // *Desalination and water treatment*. 2017. No. 66. Pp. 320—329.
12. *Brazão A. J. D. C., Da Silva R. D. R., Vivacqua C. A.* Clarification of spent filter backwash water in water treatment plants by coagulation, flocculation and dissolved air flotation // *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 2021. Vol. 26. No. 5. Pp. 865—876.
13. *Kachalova G. S.* Modern coagulants and flocculants in the cleaning of washing waters of water treatment plants // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 451. No. 1. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012226.
14. *Bolto B, Gregory J.* Organic polyelectrolytes in water treatment // *Water Research*. 2007. Vol. 41. No. 11. Pp. 2301—2324.
15. Hybrid coagulation-UF processes for spent filter backwash water treatment: a comparison studies for PAFCl and FeCl₃ as a pre-treatment / A. Ebrahimi, M. M. Amin, H. Pourzamani, Y. Hajizadeh, A. H. Mahvi, M. Mahdavi // *Environ Monit Assess*. 2017. Vol. 189. No. 8. DOI: 10.1007/s10661-017-6091-3.

© Бутко Д. А., Фесенко Л. Н., Шишова О. П., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Бутко Д. А., Фесенко Л. Н., Шишова О. П. Реагентное осветление промывных вод фильтров станций водоподготовки в нижнем течении Дона // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 118—129.

Об авторах:

Бутко Денис Александрович — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; olen_111@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3792-7198

Фесенко Лев Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; 65613@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6570-0460

Шишова Оксана Петровна — старший преподаватель каф. водоснабжения и водоотведения, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Denis A. Butko^a, Lev N. Fesenko^b, Oksana P. Shishova^a

^a Don State Technical University

^b Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

REAGENT CLARIFICATION OF WASHING WATER OF FILTERS OF WATER TREATMENT STATIONS IN THE LOWER STRETCH OF THE DON

The results of a study of the use of mineral coagulants and organic flocculants for the purification of backwash water of sand filters, which make up to 2/3 of the volume of wastewater discharge from water treatment plants, are considered. Wash waters of filters of water treatment stations with two-stage water purification, using polyDADAMACH flocculant for clarification of water from surface sources, were subjected to treatment. A complex of studies of the effectiveness of coagulants

(aluminum polyoxychlorides) and flocculants based on polyacrylamide with a cationic or anionic charge has been carried out. It is shown that the basicity of coagulants does not affect the efficiency of clarification. The optimal doses of polyoxy-chlorides, depending on the mixing mode and the type of coagulant, are in the range of 4...8 mg/dm³ for Al₂O₃. Graphic dependences of the doses of reagents and the clarification effect on the intensity of mixing in flushing sewer pipelines and the optimal mixing parameters in reuse facilities have been established, providing the specified (necessary) quality of water after settling. A feature of the studied washing waters is the possibility of their clarification up to 96...98 % in terms of efficiency with relatively low doses of the flocculant 0.25...1.5 mg/dm³. A velocity gradient of more than 30 s⁻¹ at the mixing stage reduces the efficiency of flocculant use, which should be taken into account when designing wash water treatment facilities.

Key words: coagulant, flocculant, reuse, rapid filter.

For citation:

Butko D. A., Fesenko L. N., Shishova O. P. [Reagent clarification of washing water of filters of water treatment stations in the lower stretch of the Don]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 118—129.

About authors:

Denis A. Butko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation; olen_111@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3792-7198

Lev N. Fesenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute). 132, Prosvesheniya st., 346428, Novocherkassk, Russian Federation; 65613@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6570-0460

Oksana P. Shishova — Senior Lecturer, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

УДК 628.387:628.179.2

**Н. Г. Вурдова^а, Ю. Ю. Юрьев^б, О. С. Брошко^в, А. Г. Тимофеев^б,
В. В. Изотов^б, Е. В. Москвичева^б, И. С. Ляшенко^б**

^а АО «ГМС Нефтемаш»

^б Волгоградский государственный технический университет

^в ООО «ЮниЭкоПром»

ОСВОЕНИЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДООЧИСТКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Проекты экологической направленности регулярно привлекают внимание государства и общественности. Промышленные предприятия вынуждены подстраиваться под экологическую повестку. Внедрение мало- и бессточных (замкнутых) систем водного хозяйства на предприятиях является наиболее рациональным способом защиты окружающей среды от загрязнения. Технологические приемы, позволяющие организовать замкнутые водооборотные циклы на промышленных предприятиях, постоянно совершенствуются и представляют большой научный и практический интерес. В международной практике такие технологии получили название «нулевого жидкого сброса» (Zero Liquid Discharge). Любой проект экологической направленности требует тщательного эколого-экономического обоснования. Проведен анализ подходов международной и отечественной практики проектирования, последовательности реализации инвестиционного проекта по реконструкции канализационных очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода. Обоснованы необходимость и возможность реализации проекта с приемлемой эффективностью, основанные на принципе эколого-экономической сбалансированности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: замкнутые системы водного хозяйства, канализационные очистные сооружения, фильтрующая загрузка, нулевой жидкий сброс, эколого-экономическая сбалансированность.

Введение

Сточные воды предприятий нефтепереработки и нефтехимии (НПЗ) имеют сложный физико-химический состав, включающий десятки опасных для окружающей среды и человека компонентов, поэтому требуется многоступенчатая их очистка [1—3]. Выбор методов очистки сточных вод ведется одновременно с анализом системы водоотведения промышленного предприятия и на основании данных о необходимой степени очистки. Выбранный метод (комплекс методов) должен быть простым, экономически и экологически целесообразным в конкретных условиях. Особое внимание следует уделить извлечению ценных компонентов, утилизации отходов, регенерации осадков, повторному использованию очищенной воды в оборотной системе технического водоснабжения.

Классическая технология очистки сточных вод включает отстаивание, механическую фильтрацию, физико-химические и биохимические методы, сорбцию и обеззараживание. Если применением известных методов невозможно достичь требуемого качества воды, то используют выпаривание, сжигание, закачку в глубинные горизонты. При этом осуществляется оценка соответствия технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, применяемых на объекте, наилучшим доступным технологиям [4]. Очищенные до требуемых нормативов сточные воды, как правило, сбрасываются в близлежащие водоемы. Современные предприятия, опирающиеся на политику устойчивого развития, организуют малосточные и замкнутые водооборотные системы, применяя так называемые технологии zero liquid discharge (ZLD), что является перспективным направлением модернизации производства (табл. 1).

Таблица 1

Крупнейшие НПЗ РФ и основные методы очистки их сточных вод (данные на 01.01.2022)

НПЗ	Собственник	Мощность по переработке, млн т	Методы очистки сточных вод*	Примечание
РНПК	Роснефть	18,8	МО ФХО БХО УФО	По сооружениям МО и ФХО разработана проектная документация (ПД) и пройдена ПЭ. Планируется закупка оборудования и СМР в 2022 г. По БХО — очистные сооружения старые. Есть ПД от поставщика, принято решение отказаться и корректировать ПД. Прорабатывается вопрос о передаче БХО в концессию «Росводоканалу»
«Пермнефтеоргсинтез»	Лукойл	13,1	МО ФХО БХО УФО	Планируется реконструкция
«Волгоград нефтепереработка»	Лукойл	15,7	МО ФХО	Идет реконструкция 2020—2023 гг. сооружений МО и ФХО
«Нижегороднефтеоргсинтез»	Лукойл	17,0	МО ФХО БХО УФО	Планируется реконструкция
«Туапсинский»	Роснефть	12,0	МО ФХО БХО УФО	Очистные сооружения 2010 г., технология MBR. Не работает нормально, сброс осуществляется на городские ОС г. Туапсе. Происходит разработка ТЗ на перевооружение БХО с целью достижения нормативов на сброс в водоем и обеспечения проектной пропускной способности к вводу в 2025 г. 2-го комплекса производственных мощностей завода

Окончание табл. 1

НПЗ	Собственник	Мощность по переработке, млн т	Методы очистки сточных вод*	Примечание
Московский НПЗ	Газпром нефть	11,0	МО ФХО БХО/ МБР УОО/ УУО УФО	Реконструкция очистных проведена в 2017 г. Применена технология МБР
Омский НПЗ	Газпромнефть	20,9	МО ФХО БХО/ МБР УОО/ УУО УФО	Реконструкция завершена. Идут ПНР. Применена технология МБР
ООО «КИНЕФ»	Сургутнефтегаз	20,1	МО ФХО БХО УФО	Планируется реконструкция

*Примечание: МО — механическая очистка, ФХО — физико-химическая очистка, БХО — биохимическая очистка, МБР — мембранное илоразделение, УОО/УУФ — обратный осмос/ультрафильтрация, УФО — УФ-обеззараживание.

Требования к технологической воде, в т. ч. и для повторного использования, устанавливаются в каждом случае в зависимости от ее назначения, особенностей технологического процесса, в котором она используется, применяемого оборудования и т. п. Однако в любом случае то качество воды, с которым она выходит со стандартных канализационных очистных сооружений (КОС) НПЗ, недостаточно для возврата этой воды в производство.

Повышение эффективности работы КОС промышленных стоков может быть достигнуто добавлением одной или нескольких стадий доочистки, усовершенствованием конструкции действующих аппаратов, изменением технологического процесса одной из стадий очистки на более эффективный. Выбор оптимального метода повышения эффективности очистки сточных вод НПЗ достаточно сложен. Он опирается на всесторонний технологический и экономический анализ существующей ситуации. Всегда целесообразны предварительные лабораторные и опытно-промышленные изыскания, позволяющие удостовериться, что в заданных условиях будет достигаться требуемое качество очистки.

Обсуждение результатов

Приведем результаты изысканий, проведенных на НПЗ ЮФО. Работа носила комплексный характер. Ее задачами являлись:

- 1) анализ работы систем БОВ, водоотведения и существующих КОС;
- 2) разработка оптимальных решений и схем модернизации БОВ предприятия;
- 3) проработка технических мероприятий, направленных на повышение эффективности системы оборота воды, сокращение объемов сбрасываемых сточных вод завода и уменьшение объемов забора сырой воды за счет организации подпитки очищенными стоками современных блоков оборотного водоснабжения.

Проведенные исследования показали, что очищенная вода после существующих КОС:

- 1) коррозионно агрессивна;
- 2) характеризуется высокой биологической активностью;
- 3) дополнительные исследования на слизеобразующие, сульфатвосстанавливающие и гетеротрофные микроорганизмы показали высокую степень загрязненности;
- 4) исследования органических ингибиторов коррозии 5 различных производителей в рекомендованных дозировках показали допустимую эффективность ингибиторов;
- 5) исследования ингибирования солевых отложений показали высокую эффективность;
- 6) применение очищенных стоков для подпитки современных систем БОВ приведет к увеличению расхода реагентов для стабилизационной обработки оборотной воды (ингибиторов, биоцидов).

Разработчик применяемых на предприятии реагентных программ для систем БОВ рекомендует провести комплексные мероприятия с постепенным вовлечением очищенного стока в оборот, т. к. повторное использование этой воды в системе охлаждения может привести к существенному загрязнению оборотных систем по следующим причинам:

1) значения ХПК и БПК указывают на высокое содержание органики, являющейся питательной средой для микробиологического загрязнения воды. Даже при вовлечении 10 % очищенных стоков и 90 % речной воды система охлаждения будет работать с коэффициентом упаривания 2, значение ХПК увеличится в 2 раза, что приведет к росту потребления биоцида в 2 раза;

2) остаточное содержание фенолов вызывает коррозию оборудования, их не должно быть в подпитке;

3) сульфиды чрезвычайно агрессивны по отношению к углеродистой стали и меди. Остаточное их содержание вызовет рост микроорганизмов в оборотной системе, в т. ч. в СРБ;

4) наличие нефти и углеводов усилит рост микроорганизмов и коррозию;

5) наличие аммиака значительно увеличит потребность в галогенах и ускорит коррозионное воздействие на медь и латунь.

Таким образом, без модернизации существующих КОС не представлялось возможным направить очищенные стоки в оборот.

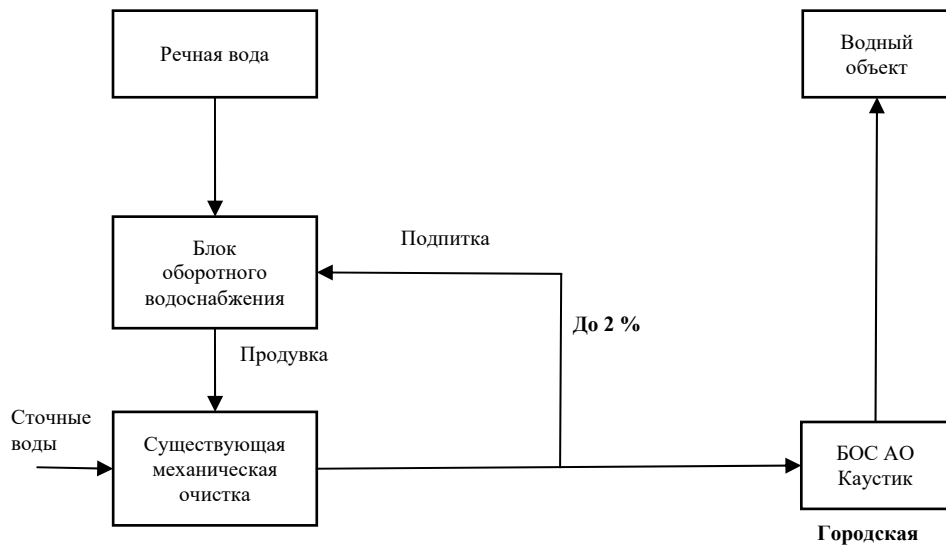
Далее выполнено технико-экономическое сравнение различных технологических решений по модернизации КОС. Оценив на предварительной стадии инвестиционные издержки, заказчиком принято решение о поэтапном проведении дальнейших работ. В соответствии с заданием заказчика проведены технико-экономические расчеты 3 вариантов реконструкции КОС НПЗ, которые позволили разработать программу обоснования инвестиций с поэтапным строительством (табл. 2).

Таблица 2

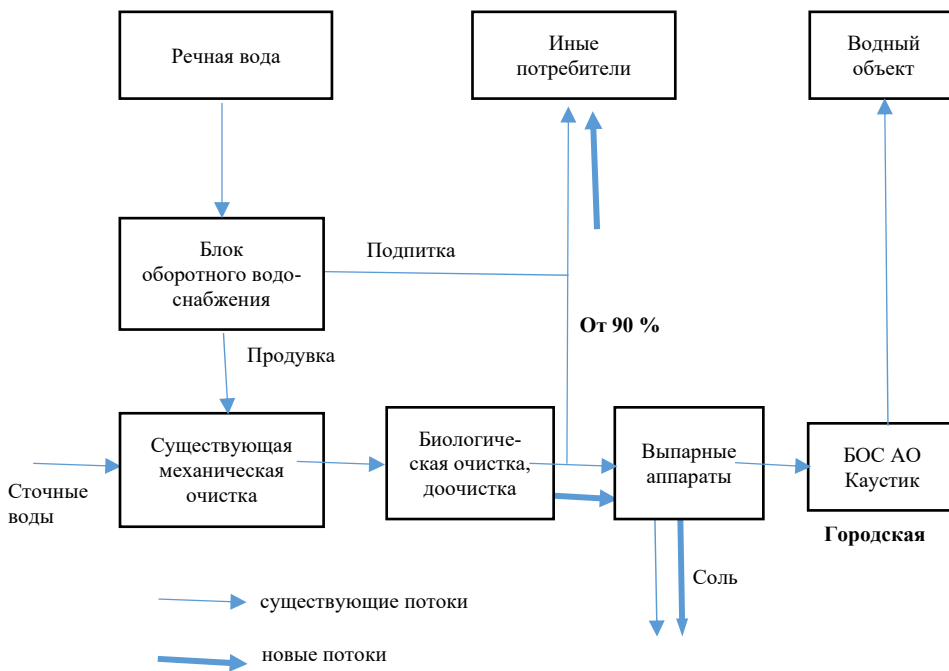
Перечень основных мероприятий по модернизации КОС

Этапы	Задачи этапа	Результат
1	Реконструкция существующих КОС завода: восстановление бетона, перекладка сетей, частичная замена оборудования	Улучшение степени очистки по отдельным показателям: нефтепродуктам, взвешенным веществам, сульфидам и др. Позволит возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафы от городского «Водоканала» за превышение нормативов по сбросу
2	Построение новых сооружений — блоков биологической очистки	Позволит возвращать очищенные стоки на отдельные блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские очистные сооружения, возвращать часть стоков в качестве технической воды для предприятий-абонентов. Избыток можно направлять на сброс в реку
3	Построение новых сооружений — блоков доочистки	Позволит возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские очистные сооружения, прекратить забор свежей воды из реки на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ

Технологическая схема КОС после модернизации выстраивалась в последовательность: усреднение > механическая очистка и физико-химическая очистка > очистка на БХО > 2-ступенчатое фильтрование (осветлительное и сорбционное) > мембранное обессоливание > обезвоживание и обезвреживание жидких отходов КОС (рис.).



a



б

Принципиальная схема водооборота на НПЗ до (а) и после модернизации (б)

Для организации альтернативных замкнутых или малосточных систем были рассмотрены варианты доочистки сточных вод на MBR, подбор фильтрующих загрузок, включая природные сорбенты, доступные крупнотоннажно в регионе присутствия [5, 6], комбинация технологий обратного осмоса и электродиализа, выпарная установка. Качество очищенной воды приведено в табл. 3.

Таблица 3

Качество очищенной воды на КОС

Параметры	Ед. изм.	Значение		
		I этап	II этап	III этап
Температура	°С	15	15	15
Водородный показатель (рН)	ед.	6,5...9,5	6,5...8,5	7,98
Взвешенные вещества	мг/дм ³	50	10	1
ХПК	мг О ₂ /дм ³	610	30	5
БПКп	мг О ₂ /дм ³	450	3	1,3
БПК5	мг О ₂ /дм ³	—	2,1	1,2
ООУ	мг/дм ³	—	—	1,3
Нефтепродукты	мг/дм ³	25	0,05	0
Общий азот	мг/дм ³	50	9,47	2,31
Органический азот	мг/дм ³	—	—	0
Общий фосфор	мг/дм ³	0,33	0,02	0
Органический фосфор	мг/дм ³	—	—	0
Общая минерализация	мг/дм ³	1000	1000	14,28
Мутность	ЕМФ	—	—	0
Индекс SDI	мг/дм ³	> 5,0	> 5,0	0,2
Щелочность	мг-экв/дм ³	0	0	0,03

По сути этот процесс и являлся ZLD, который включает 3 стадии: предварительную подготовку, концентрацию и тепловую обработку [7, 8].

В последнее время важное значение имеют методики оценки полной стоимости владения покупаемой продукцией. В ходе работы проведено исследование различных методик [9—11] и выполнены технико-экономические расчеты обоснования инвестиций в реконструкцию КОС НПЗ. Применительно к объектам общезаводского хозяйства промышленных предприятий, составной частью которых являются водоочистные сооружения, расхождение между предложениями поставщиков с низкой закупочной стоимостью оборудования и материалов (CAPEX) и поставщиков продукции с более высокой закупочной стоимостью, но более низкой совокупной стоимостью владения (OPEX) может достигать нескольких раз. Поэтому важно проводить сопоставление и анализ стоимости на всех этапах жизненного цикла возводимого или реконструируемого водоочистного сооружения [12—14]. Такие подходы были применены в дальнейших расчетах.

Выводы

Очистка сточных вод промышленного предприятия является дорогостоящим мероприятием. В рассмотренном случае внедрение мало- и бессточных (замкнутых) систем водного хозяйства на предприятии оценивалось примерно в 9 млрд руб. Тем не менее удалось качественно обосновать перед

заказчиком необходимость и возможность реализации проекта с приемлемой эффективностью, опираясь на принцип эколого-экономической сбалансированности.

Этому способствовало и наличие на предприятии высокоорганизованной системы риск-менеджмента. Учет и анализ различных рисков и разработку противорисковых мероприятий проводят на системной основе. Оценена вероятность возникновения негативных процессов и явлений, снижающих качество окружающей среды, проведена количественная оценка возможных ущербов в случае отказа от принятия решения по реконструкции КОС. Результаты проведенных расчетов и исследований использованы в инвестиционной программе предприятия на ближайшие 5 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пономарев В. Г., Иоакимис Э. Г., Монгайт И. Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов : монография. М. : Химия, 1985. 255 с.
2. Карелин Я. А., Попова И. А., Евсеева Л. А., Евсеева О. Я. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М. : Стройиздат, 1982. 332 с.
3. Степанов А. С. Биомембранная и биосорбционно-мембранная очистка сточных вод нефтехимического производства // Известия КазГАСУ. 2009. № 1. С. 226—229.
4. ИТС 8—2022. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. М. : Росстандарт, 2022. 93 с.
5. Москвичева Е. В., Стрелетов И. В., Москвичев С. С. Получение сорбентов из алюмосиликатных отходов нефтеперерабатывающего завода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2008. Вып. 12(31). С. 101—104.
6. Москвичева Е. В., Быков А. А., Алексиков А. Е., Геращенко А. А. Повышение эффективности работы сооружений очистки нефте содержащих сточных вод // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2007. № 2. URL: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-3-11_0507.pdf.
7. Владимиров А. И., Ремизов В. В. Экология нефтегазового комплекса : учеб. пособие. М. : Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. Т. 1. 416 с.
8. Jirdasek M., Sipova A., Divisek Z., Dupal J. What is zero liquid discharge? URL: <https://www.mega.cz/ru/zero-liquid-discharge>.
9. Behrens P., Hawranek M. Manual for the preparation of industrial feasibility studies. Newly revised and expanded edition. Vienna : UNIDO, 1991. 404 p.
10. Golubeva V. Cost Benchmarking Principles and Expectations'. London : Cabinet Office, 2019. 9 p.
11. Тетеркин В. Оценка затрат на ранних этапах крупного проекта. Пример ПАО «Газпромнефть» // Вестник ПМСОФТ. 2017. № 13. С. 13—16.
12. Гогина Е. С., Гуринович А. Д. Применение методики ЛСС для оценки эффективности инвестиционных проектов сооружений очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 9. С. 36—41.
13. 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.
14. 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—152.

© Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю., Брошко О. С., Тимофеев А. Г., Изотов В. В.,
Москвичева Е. В., Ляшенко И. С., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Освоение наилучших доступных технологий водоочистки для промышленных предприятий / Н. Г. Вурдова, Ю. Ю. Юрьев, О. С. Брошко, А. Г. Тимофеев, В. В. Изотов, Е. В. Москвичева, И. С. Ляшенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 130—139.

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

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

Брошко Олеся Сергеевна — главный технолог, ООО «ЮниЭкоПром». Российская Федерация, 142304, г. Чехов, ул. Гагарина, вл. 1; o.broshko@grouprgt.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

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

Ляшенко Иван Сергеевич — магистрант 2-го курса каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Nadezhda G. Vurdova^a, Yurii Yu. Yur'ev^b, Olesya S. Broshko^c, Anton G. Timofeev^b, Vladimir V. Izotov^b, Elena V. Moskvicheva^b, Ivan S. Lyashenko^b

^a JSC “HMS Neftemash”

^b Volgograd State Technical University

^c LLC UniEcoProm

DEVELOPMENT OF BEST AVAILABLE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

Ecological projects regularly attract the attention of the state and the public. Therefore, industrial enterprises are forced to adapt to the environmental agenda. The introduction of low- and drainless (closed) water management systems at enterprises is the most rational way to protect the environment from pollution. Technological methods that allow organizing closed water circulation cycles at an industrial enterprise are constantly being improved and are of great scientific and practical interest. In international practice, such technologies are called “zero liquid discharge” or ZLD (English, Zero Liquid Discharge). Like any environmentally oriented project, the ZLD organization requires a thorough environmental and economic justification. An analysis of the approaches of international and domestic design practices, as well as the sequence of implementation of an investment project for the reconstruction of sewage treatment facilities of an oil refinery was carried out. Despite the significant capital costs, the necessity and possibility of implementing the project with acceptable efficiency, based on the principle of environmental and economic balance, is substantiated.

Key words: closed water management systems, sewer treatment facilities, filter loading, zero liquid discharge, ecological and economic balance.

For citation:

Vurdova N. G., Yur'ev Yu. Yu., Broshko O. S., Timofeev A. G., Izotov V. V., Moskvicheva E. V., Lyashenko I. S. [Development of best available water treatment technologies for industrial enterprises]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 130—139.

About authors:

Nadezhda G. Vurdova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, JSC "HMS Neftemash". 44, Voennaya st., Tyumen, 625003, Russian Federation; nadya_vurdova@mail.ru

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

Olesya S. Broshko — Chief technologist, LLC UniEcoProm. 1, Gagarina st., Chehov, 142304, Russian Federation; o.broshko@grouprgt.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

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

Ivan S. Lyashenko — Master' Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 628.316, 628.16.08

**Н. Г. Вурдова^а, О. С. Брошко^б, Ю. Ю. Юрьев^в, В. В. Изотов^в,
А. Г. Тимофеев^в, Е. В. Москвичева^в, Е. А. Бастрыкин^в**

^аАО «ГМС Нефтемаш»

^бООО «ЮниЭкоПром»

^вВолгоградский государственный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МАЛОСТОЧНЫХ СИСТЕМ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли являются объектами, оказывающими значительное воздействие на окружающую среду, обязаны разрабатывать и внедрять программы повышения экологической устойчивости. Приведены результаты разработки технических мероприятий по повышению эффективности систем оборотного водоснабжения, сокращению объемов сбрасываемых сточных вод завода и уменьшению забора сырой воды из поверхностного источника. В настоящее время усиливается интерес к фильтрующим загрузкам природного происхождения, сочетающим в себе сорбционные и фильтрующие свойства, обладающим низкой плотностью, увеличенной гряземкостью, а значит, фильтроциклом, пригодным к использованию в системах водоподготовки и для очистки сточных вод. Их использование позволяет снизить эксплуатационные расходы. Актуальной является доступность фильтрующих загрузок на отечественном рынке.

Ключевые слова: блоки оборотного водоснабжения, очистка производственных сточных вод, канализационные очистные сооружения, опытно-промышленные испытания, технико-экономические обоснование, фильтрующая загрузка.

Введение

Сточные воды предприятий нефтепереработки и нефтехимии (СВНН) высокотоксичны и при существующих объемах водоотведения представляют собой серьезную экологическую опасность [1, 2]. Такие предприятия относятся к I категории. Современные предприятия, опирающиеся на политику устойчивого развития, организуют малосточные и замкнутые водооборотные системы, применяя так называемые технологии ZLD (Zero Liquid Discharge), что является перспективным направлением модернизации производства. Лишь немногие нефтехимические гиганты смогли запустить или запланировать замкнутые водооборотные системы. Из-за высокой стоимости жизненного цикла таких систем¹ для принятия решения о вложениях необходимо провести большую прединвестиционную работу: технико-экономическое обоснование проекта, включающее несколько вариантов, и маркетинговые исследования, осуществление выбора поставщиков, а также оценку возможных последствий от реализации или «незапуска» проекта с технической, экономической и экологической позиций.

На основании анализа методов и технологий очистки СВНН с позиций организации замкнутых систем водного хозяйства наиболее реальной видится поэтапная реализация проектов модернизации, реконструкции или

¹ ГОСТ Р 58785—2019. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. М. : Стандартинформ, 2020. 19 с.

строительства водоочистных сооружений. За счет модернизации отдельных блоков, например сорбционной доочистки, и применения мембранных методов получают техническую воду вплоть до глубоко обессоленной. Поиск и применение новых фильтрующих материалов на основе природных сорбентов для загрузки осветлительных и сорбционных фильтров, нестационарных электрохимических методов доочистки позволяют добиться необходимого эколого-экономического баланса [3—6]. Выбор оптимального метода повышения эффективности очистки СВНН достаточно сложен [7, 8]. Он должен опираться на всесторонний технологический и экономический анализ ситуации [9]. Целесообразны предварительные лабораторные и опытно-промышленные изыскания, позволяющие удостовериться, что в заданных условиях будет достигаться требуемое качество очистки.

Таким образом, при обосновании и разработке технологий очистки СВНН, включая создание новых моделей и методов управления экологическими рисками, на этапах обоснования инвестиций, при проектировании и строительстве водоочистных сооружений возникает необходимость решения комплекса научных, технических, экологических и экономических задач.

Результаты исследования и обсуждение

Расход воды на производственные нужды нефтеперерабатывающих предприятий напрямую зависит от принятой схемы и глубины переработки нефти, ее количества, количества аппаратов воздушного охлаждения, используемых в техпроцессах, и т. д. На предприятиях, построенных по технологиям XX в., на 1 т перерабатываемой нефти расходуется в среднем $0,8...1,6 \text{ м}^3$ свежей воды и $17,0...27,0 \text{ м}^3$ оборотной воды, на нефтехимических комбинатах — в $10...30$ раз больше. Современные предприятия, использующие новейшие технологии и оборудование ведущих мировых производителей, сокращают водопотребление в несколько раз.

Традиционная технология очистки СВНН включает отстаивание, механическую фильтрацию, физико-химический и биохимический методы, а также методы доочистки — сорбцию и обеззараживание [10]. Иногда применяют обессоливание и умягчение. Очищенные сточные воды, как правило, сбрасывают в близлежащие водоемы. При этом требуемые нормативы к сбросу в водоемы I категории водопользования практически никогда не достигаются. Это относится и к низкой эффективности работы основного блока сооружений, но в большей степени к сооружениям доочистки.

Сорбционная очистка сточных вод

При сбросе очищенной воды в водоем рыбохозяйственного назначения необходимо сток, прошедший стадию биохимической очистки (БХО), доочищать по ряду показателей: БПК, ХПК, взвешенным, нефтепродуктам, сульфидам, фенолам, тяжелым металлам. В качестве блоков дополнительной очистки, как правило, применяют двухступенчатое фильтрование на фильтрах с загрузкой песком и активированным углем. Не всегда этот блок справляется с поставленными задачами, отдельные фракции кварцевого песка становятся труднодоступными, угольная загрузка — дорогостоящий расходный материал. Поэтому постоянно ведется поиск новых фильтрующих и сорбционных материалов [11—15]. Таким материалом, сочетающим фильтрационные и сорбционные свойства, на наш взгляд, могут служить различные природные сорбенты, в т. ч. дисперсные кремнеземы (опоки) [16, 17]. Опоки

имеют соизмеримую с другими известными природными и искусственными материалами эффективность (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики различных сорбентов

Сорбент	Сорбционная емкость, мг/г						
	Углеводороды	Фенол	ПАВ	Fe ³⁺	Cr ³⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺
Опока, 0,8...1,5 мм	6,0	6,5	9,0	12,0	5,0	10,0	8,0
Силикагель 60	2,0	4,0	5,0	6,0	3,0	3,0	3,0
Уголь активированный БАУ, 0,8...5,0 мм	15,0	10,0	12,0	3,0	3,0	2,5	2,0
Полиуретан	2,5	3,5	4,0	2,5	2,5	2,5	3,0
Катионит КУ-23	—	—	—	4,5	8,5	10,0	5,0

Проведены исследования химического состава и сорбционной структуры опоки. Определены удельная поверхность, размеры частиц и энергетические характеристики сорбции твердых сорбентов при адсорбции из газовой фазы, дисперсности сорбентов. Важно иметь сорбент, обладающий высокой емкостью и удерживающей способностью, легко регенерирующий. При этом не должны увеличиваться эксплуатационные расходы (или уменьшаться по сравнению с традиционными загрузками), применение сорбента должно быть рентабельным. В этом направлении проводилось исследование. Сточные воды моделировали 5 мМ раствором Na₂SO₄ с добавлением нефтепродуктов (индустриальное масло), фенолов и солей тяжелых металлов Fe, Zn, Cu, Cr.

Применение опоки позволяет увеличивать грязеемкость фильтров, материал обладает высокой механической прочностью, химической устойчивостью, более развитой, в сравнении с пеком, удельной поверхностью и большей пористостью. В таблице 2 приведен сравнительный анализ фильтрующих загрузок, применяемых в технологиях очистки и доочистки производственных сточных вод.

Таблица 2

Показатели механической прочности сорбционных материалов

Материал	Крупность зерен, мм	Истираемость, %	Измельчаемость, %
Сорбент заявляемый	0,80	0,08	0,20
Дробленый керамзит	1,78	2,12	0,12
Горелые породы	1,0	0,46	3,12
Шунгизит	0,84	0,20	1,50
Клиноптилолит	1,15	0,40	3,40
Вулканические шлаки	0,95	0,08	0,72
Уголь активированный БАУ	1,0	6,0	—
Песок	1,5	0,3	3,0

Опока относится к группе дисперсных кремнеземов, к которой также относят диатомиты и трепелы. Отличаются они генезисом, физическими и физико-химическими свойствами. Проведены исследования сорбентов из опок Саратовской, Ульяновской и Астраханской областей. Последние, как оказалось, обладают еще и рядом преимуществ (табл. 3).

Таблица 3

Сравнения физико-химический свойств различных опок

Адсорбент (опока)	Состав, %					Удел. поверхность S , м ² /г	Радиус переходных пор $r_{пер}$, нм	Суммарный объем пор V_{Σ} , см ³ /г
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO			
Астраханская	86,30	18,75	1,21	1,23	0,47	120	3,2	0,44
Саратовская	82,80	6,60	4,95	0,78	5,18	88	2,4	0,44
Ульяновская	78,90	3,22	2,56	0,89	1,52	99	15,8	0,43

К дальнейшему исследованию принят природный сорбент — опока с высоким содержанием общего кремнезема (до 86 %, Астраханская обл.). Последовательность подготовки исходного сырья показана на схеме (рис. 1).



Рис. 1. Схема получения сорбента

Сорбент имеет удельную поверхность 130 м²/г, объем пор 0,88 см³/г, радиус пор 55 нм. Минеральный состав представлен опал-кристобалит-тридимитовой фазой (24...86 %). Опоки относят к глинистым породам, но по характеристикам близки к цеолитам. Интерес данная порода представляет в связи с высоким содержанием оксида алюминия и катионообменной емкостью (50...75 мг-экв/г), ионоселективностью и отсутствием следов свинца, мышьяка и кадмия, что подтверждает экологичность сорбента.

В экспериментах для сравнения фильтрующих материалов использован песок различного фракционного состава по ГОСТ Р 51641—2000, активированный уголь — гранулированный природный материал, который используется в сорбционно-осветлительных установках и фильтрах тонкой очистки воды (чаще всего применяется для улучшения органолептических свойств воды — запаха, вкуса, цвета, прозрачности). Также сорбционный угольный фильтр устраняет из воды органические соединения, хлор, фтор, небольшие концентрации железа и марганца. На рисунке 2 приведены внешний вид и принципиальная схема стенда для проведения лабораторных испытаний фильтрующих загрузок.

Проведена серия сравнительных экспериментов с подбором фильтрующего материала для моделирования процесса доочистки промышленных сточных вод нефтеперерабатывающего завода. Результаты лабораторных исследований на модельном растворе приведены в табл. 4.

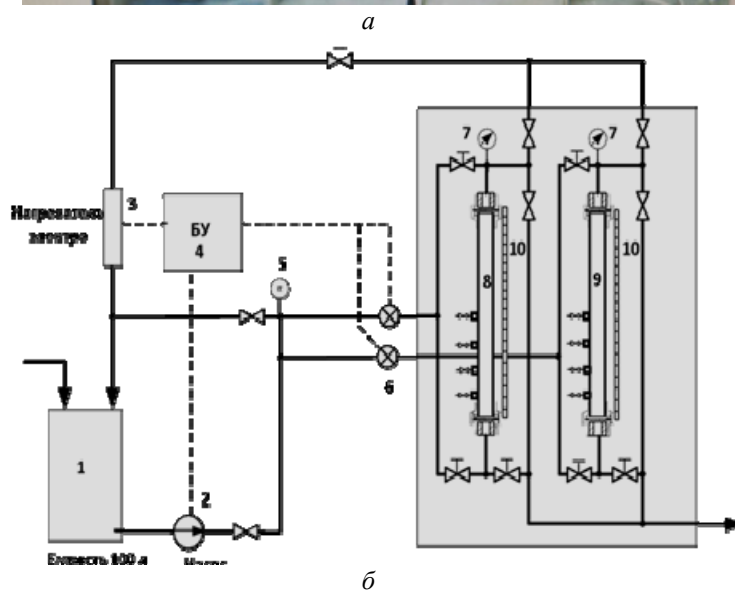


Рис. 2. Опытный стенд (а) и его схема (б) для испытания фильтрующих загрузок: 1 — емкость объемом 100 л; 2 — насос; 3 — нагреватель 3 кВт; 4 — блок управления; 5 — термометр; 6 — расходмеры; 7 — дифференциальные манометры; 8, 9 — колонки; 10 — мерные линейки

Таблица 4

Очистка сточных вод в лабораторных условиях на разных типах фильтрующих сред

Показатель	Концентрация в исходной воде, мг/дм ³	Концентрация в очищенной воде, мг/дм ³		
		песок	уголь	опока
Взвешенные вещества	35,00	2,30	—	3,00
БПК _п	11,20	9,80	3,70	3,44
Аммоний-ион (по NH ₄)	0,42	0,75	1,20	0,15
Нитрит-ион (по NO ₂)	0,31	0,35	0,31	0,14
Нитрат-ион (NO ₃)	38,40	5,10	6,80	25,10
Сероводород и сульфиды	0,05	—	—	—
АПАВ	0,34	0,015	0,009	0,005
Фосфат-ион	1,55	0,26	0,70	0,20

Установлена эффективность сорбента опоки по сравнению с активированным углем и кварцевым песком, особенно по показателям БПК_п (69 %) аммоний-ион (64 %), нитрит-анион (55 %), АПАВ (98 %), фосфат-ион (87 %) и нефтепродукты (99 %). На основе полученных данных рассчитаны технологические параметры процесса доочистки производственных сточных вод: размеры и количество фильтров, объем загрузки, скорости и количество промывок и т. п. Применение опоки в качестве фильтрующего материала вместо песка позволило уменьшить объем промывной воды, частоту промывок (увеличился фильтроцикл) и, следовательно, типоразмер насосов. Это повлияло на энергоэффективность станции в целом.

Проведены эксперименты с реальными природными и сточными водами предприятия (табл. 5). В природную воду дополнительно вносили загрязнитель — определенное количество смеси мазута и дизельного топлива (5:1 объемных частей). Пропускали воду через слой сорбента, определяли содержание нефтепродуктов в воде на выходе из колонки сорбента. Общие условия проведения опытов: объем воды — 100 дм³; масса сорбента — 1,0 кг; скорость фильтрования соответствовала 8 м/ч.

Таблица 5

*Эффективность очистки воды от органических соединений
 на опоке из природных и сточных вод НПЗ*

Место отбора воды	Количество, мг/дм ³		Эффективность очистки, %
	до сорбции	после сорбции	
Вода р. Волги (ниже места сброса с КОС 0,5 км)	1,0	0,003	99,7
С добавлением смеси нефтепродуктов	50,0	0,01	99,9
	100,0	0,15	99,8
	1000,0	9,50	99,0
Сточные воды 1-й системы канализации НПЗ до физико-химической очистки	10000,0	50,00	99,5
Сточные воды 2-й системы канализации до физико-химической очистки	1000,0	14,20	98,5

На основе полученных экспериментальных данных выполнены технологические расчеты напорных сорбционных фильтров для промышленного применения.

Проведенные комплексные обследования КОС НПЗ показали, что сточные воды, прошедшие физико-химическую очистку, не рекомендуется использовать в качестве подпитки блоков оборотного водоснабжения. Повторное использование этой воды в системе охлаждения может привести к существенному загрязнению оборотных систем по следующим причинам:

- 1) значения ХПК и БПК указывают на высокое содержание органики, которая является питательным веществом для различных микроорганизмов в воде. Даже при добавлении 10 % стоков в 90 % речной воды система охлаждения будет работать с коэффициентом упаривания 2, значение ХПК будет увеличено в 2 раза, и приведет к увеличению потребления биоцида в 2 раза;
- 2) фенолы вызывают коррозию, их не должно содержаться в подпитке;
- 3) сульфиды чрезвычайно агрессивны по отношению к углеродистой стали и меди, вызывают рост микроорганизмов в оборотной системе (СРБ в частности);

- 4) нефть и углеводороды — причина роста микроорганизмов и коррозии;
- 5) аммиак — значительно увеличивает потребность в галогенах и ускоряет коррозионное воздействие на медь и латунь.

Требуется провести модернизации действующих очистных сооружений предприятия. Проведен предварительный квалификационный опрос компаний, специализирующихся на поставках технологий и оборудования для очистки сточных вод НПЗ, получена оценка стоимости капитальных вложений, удовлетворяющая требованиям 5-го класса. Выполнены технико-экономические расчеты 3 этапов реконструкции очистных сооружений по различным методикам с учетом оценки стоимости жизненного цикла [18].

Выводы

Достижение основной цели реконструкции КОС НПЗ — сокращение объемов сбрасываемых сточных вод завода и уменьшение забора сырой воды из реки Волги за счет организации подпитки очищенными стоками современных блоков оборотного водоснабжения — возможно за счет последовательной реализации следующих этапов:

- 1) реконструкция существующих КОС. Ожидаемый результат — улучшение степени очистки по отдельным показателям: нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфиды и др. Это позволит возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафы от «Горводоканала» за превышения нормативов;

- 2) постройка новых сооружений — блоков биологической очистки. Это позволит 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 сбрасывать в реку;

- 3) постройка новых сооружений — блоков доочистки. Мероприятия позволят возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, прекратить забор речной воды из р. Волги на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаров В. Д., Аксенов В. И., Назаров М. Д. Водное хозяйство промышленных предприятий : справочное издание. Книга 5. М. : Теплотехник, 2010. 439 с.
2. Бирман Ю. А., Вурдова Н. Г. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов М. : АСВ, 2002. 295 с.
3. Matheus A. S., Charles W. I. H., Giselle M. M. Residual diatomaceous earth as a potential and cost effective biosorbent of the azo textile dye Reactive Blue 160 // Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 8. Iss. 1. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103617>.
4. Hai N. T., Sheng-Jie Y., Ahmad H.-B., Huan-Ping C. Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review // Water Research. 2017. Vol. 120. Pp. 88—116.
5. Yasser G. H., Marwa El-A., Mohamed F. S., Rehab K. M. Cost estimation of synthesis and utilization of nano-adsorbents on the laboratory and industrial scales: A detailed review // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 875. Pp. 1626—29.
6. Москвичева Е. В., Стрелетов И. В., Москвичев С. С. Получение сорбентов из алюмосиликатных отходов нефтеперерабатывающего завода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2008. Вып. 12(31). С. 101—104.
7. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.

8. *Жмур Н. С.* Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М. : Акварос, 2003. 512 с.
9. *Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю.* Инвестиционный проект создания замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 529—538.
10. *Пономарев В. Г., Иоакимис Э. Г., Монгайт И. Л.* Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов : монография. М. : Химия, 1985. 255 с.
11. *Тарасевич Ю. И.* Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев : Наукова думка, 1981. 207 с.
12. *Якубов В. В.* Адсорбционные фильтровальные свойства фильтрующих загрузок водоочистных фильтров // Известия НВ АУК. 2009. № 1(13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbtsionnye-filtrovalnye-svoystva-filtruyuschih-zagruzok-vodoочистnyh-filtrov>.
13. *Милешкин С. И.* Сравнение материалов, применяемых в качестве фильтрующей загрузки на фильтрах доочистки сточных вод // Молодежь и наука: материалы международной науч.-практ. конф. старшеклассников, студентов и аспирантов «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина». 2020. Нижний Тагил, 2020. С. 257—260.
14. *Собгайда Н. А., Ольшанская Л. Н.* Ресурсосберегающие технологии применения сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Саратов : Наука, 2010. 148 с.
15. *Стрепетов И. В., Москвичева Е. В.* Использование отходов полимерных материалов для очистки сточных вод от нефтяных загрязнений // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2006. № 1(1). URL: <http://vestnik.vgasu.ru/attachments/strepetov.pdf>.
16. *Москвичева Е. В., Белоусова Ю. Б., Тищенко Ю. А.* Применение опоки в качестве сорбента для очистки воды // Вестник науки. 2018. Т. 3. № 9(9). С. 170—173.
17. *Москвичева Е. В., Быков А. А., Алексиков А. Е., Геращенко А. А.* Повышение эффективности работы сооружений очистки нефтесодержащих сточных вод // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2007. № 2. URL: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-3-11_0507.pdf.
18. 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—152.

© *Вурдова Н. Г., Брошко О. С., Юрьев Ю. Ю., Изотов В. В., Тимофеев А. Г., Москвичева Е. В., Бастрыкин Е. А., 2023*

Поступила в редакцию
в мае 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Технологический подход к организации малосточных систем на нефтеперерабатывающих предприятиях / Н. Г. Вурдова, О. С. Брошко, Ю. Ю. Юрьев, В. В. Изотов, А. Г. Тимофеев, Е. В. Москвичева, Е. А. Бастрыкин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 140—148.

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

Брошко Олеся Сергеевна — главный технолог, ООО «ЮниЭкоПром». Российская Федерация, 142304, г. Чехов, ул. Гагарина, вл. 1; o.broshko@grouprgt.ru

Юрьев Юрий Юрьевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 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

Тимофеев Антон Георгиевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Бастрыкин Егор Александрович — магистрант 2-го курса каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Nadezhda G. Vurdova^a, Olesya S. Broshko^b, Yurii Yu. Yur'ev^c, Vladimir V. Izotov^c, Anton G. Timofeev^c, Elena V. Moskvicheva^c, Egor A. Bastrykin^c

^a JSC "HMS Neftemash"

^b LLC UniEcoProm

^c Volgograd State Technical University

TECHNOLOGICAL APPROACH TO THE ORGANIZATION OF LOW-VOLTAGE SYSTEMS AT OIL REFINING ENTERPRISES

The enterprises of the oil refining and petrochemical industries are objects that have a significant impact on the environment, are obliged to develop and implement programs to improve environmental sustainability. This study presents the results of the development of technical measures aimed at improving the efficiency of recycling water supply systems, reducing the volume of wastewater discharged from the plant and reducing the intake of raw water from a surface water source. Currently, there is increasing interest in the search for filter loadings of natural origin, combining the properties of sorption and filtering material with low density, increased dirt capacity, and therefore a filter cycle, as well as suitable for use both for water treatment systems and for wastewater treatment. Their use allows you to reduce operating costs. The availability of filter loading on the domestic market is relevant.

Key words: recycled water supply units, industrial wastewater treatment, sewage treatment plants, pilot tests, feasibility study, filter loading.

For citation:

Vurdova N. G., Broshko O. S., Yur'ev Yu. Yu., Izotov V. V., Timofeev A. G., Moskvicheva E. V., Bastrykin E. A. [Technological approach to the organization of low-voltage systems at oil refining enterprises]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 140—148.

About authors:

Nadezhda G. Vurdova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, JSC "HMS Neftemash". 44, Voennaya st., Tyumen, 625003, Russian Federation; nadya_vurdova@mail.ru

Olesya S. Broshko — Chief technologist, LLC UniEcoProm. 1, Gagarina st., Chehov, 142304, Russian Federation; o.broshko@groupgrt.ru

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

Vladimir V. Izotov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Anton G. Timofeev — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@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

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

УДК 628.312.2:543.421/.424

М. Ю. Дягелев

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова

ОПЫТ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОЛЛЮТАНТА В МОДЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Представлены результаты работы по определению поллютанта в модельном растворе антибиотика цефотаксима с помощью спектрофотометрического метода. В сериях опытов установлены минимальные концентрации цефотаксима в модельных растворах, которые можно выявить с помощью спектрофотометра ПЭ-5400 УФ. Выявлено увеличение пика оптической плотности цефотаксима в пробах при смещении pH в кислую среду, особенно при значениях pH от 0,2 до 2,0. Полученные значения величин оптической плотности и спектров поглощения модельного раствора цефотаксима можно использовать при разработке методики обнаружения антибиотиков в разных средах, в т. ч. в городских сточных водах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сточные воды, поллютант, антибиотики, спектроскопия, очистка стоков, микрозагрязнители.

В процессе хозяйственной деятельности интенсивно используются важнейшие природные ресурсы: вода, земля, воздух, полезные ископаемые. При этом нарушается экологическое равновесие, сформировавшееся на земле в течение миллионов лет эволюции. Негативные последствия человеческой деятельности в большей степени сказываются на биогеофизической обстановке нашей планеты, наиболее сильно страдает гидросфера [1]. Появление фармацевтических соединений и их метаболитов в водной среде вызывает серьезную озабоченность во всем мире [2, 3]. Основная причина появления фармацевтических препаратов в водах заключается в их широком потреблении и неполном удалении на городских очистных сооружениях, остатки препаратов попадают в поверхностные воды, грунтовые воды, морские воды и влияют в дальнейшем на их качество [4—8]. В зависимости от вида загрязнений, имеющихся в сточных водах (СВ), выбирают методы их очистки [9]. Однако, если СВ имеют новые поллютанты в своем составе, то для разработки или модернизации технологической схемы их удаления необходимо оценить их количество в поступающих СВ и на основе количественной оценки подбирать наиболее эффективные, конструктивно доступные и экономически целесообразные способы (методы) очистки СВ [10].

Проведенный анализ присутствия поллютантов в СВ и поверхностных водах, в первую очередь фармацевтических загрязнителей, особенно антибиотиков, показал, что их наличие подвергает опасности непатогенное микробное сообщество [11, 12]. Фармацевтические препараты обнаружены в водных экосистемах, возникает опасение по поводу их присутствия, потенциального воздействия на живые существа и снижения эффективных способов их удаления из поверхностных водоемов и СВ. В последние годы СВ, поверхностные и подземные воды содержат различные остатки фармацевтических препаратов [12—15]. Судьба фармацевтических соединений предсказуема на основе их химических и физических свойств. Недостатком небоиоразлагаемых антибиотиков является то, что они не могут быть легко

разложены, они остаются в СВ и после обработки СВ попадают в окружающую среду в неизменном виде. В медицине и в ветеринарии антибиотики часто используются для лечения и профилактики инфекций, в сельском хозяйстве — для увеличения темпов роста крупного рогатого скота и эффективности кормления. Недавние исследования в Европе показывают, что из-за традиционной очистки СВ лекарства распадаются неэффективно, до 80 % лекарственных препаратов, поступающих на очистные сооружения, может быть сброшено в водную среду [16].

Выбросы антибиотиков в окружающую среду вызывают наибольшее беспокойство, т. к. они могут усиливать генотоксичность, водную токсичность и устойчивость бактерий. Из-за способности сохраняться и сохранять свою стабильность в окружающей среде антибиотики могут оказывать негативное воздействие на водные и наземные условия. Негативные воздействия антибиотиков проявляются даже при очень низких концентрациях (от нг/л до мг/л) и могут приводить к резистентности бактерий к лекарствам. ВОЗ сообщила об устойчивости к противомикробным препаратам как о серьезной проблеме общественного здравоохранения, которая, как ожидается, к 2050 г. будет ежегодно уносить около 10 млн жизней [12].

В своих работах М. А. Козлова [17] приводит анализ исследований вклада различных источников лекарственного загрязнения водной среды и утверждает, что вклад человека через бытовые СВ является основным и может достигать 90 % от всех поступлений. Поступление лекарств в бытовые СВ чаще всего зависит от доли выведения лекарств из организма человека через естественные выделения (моча, пот, кал), которая варьируется в широком диапазоне (рис. 1). Данные исследований М. А. Козловой [17] и S. C. Monteiro, A. V. A. Voxall [18] показывают, что тетрациклины, пенициллины, фторхинолоны и бета-блокаторы (за исключением пропранолола и бетаксолола) выводятся практически без изменений, тогда как анальгетики и противовоспалительные препараты интенсивно метаболизируются, хотя процентные уровни экскреции для большинства метаболитов неизвестны.

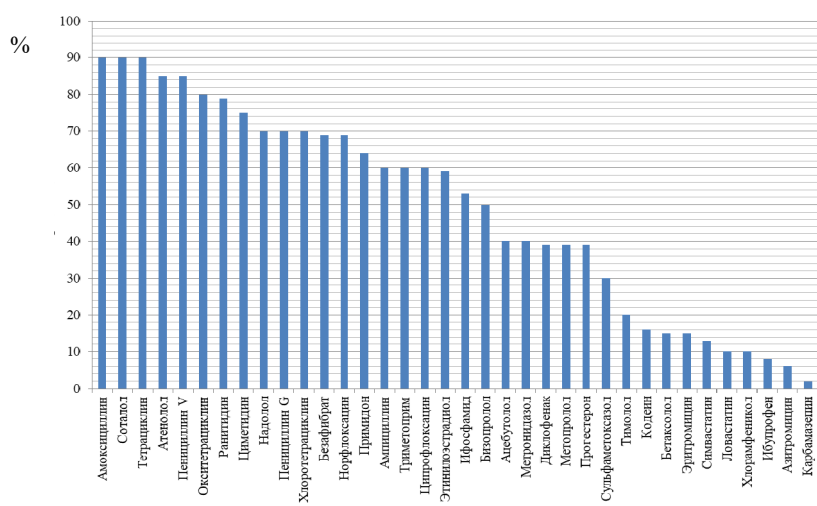


Рис. 1. Процент выведения некоторых лекарственных препаратов из организма человека

Следует отметить, что при попадании в городскую систему водоотведения лекарственные препараты, в т. ч. антибиотики, подвергаются воздействию некоторых факторов (температура, pH среды, время пребывания) и взаимодействуют с компонентами стоков. В этом ключе интересны оценка изменения антибиотиков и разработка методики их обнаружения при изменении условий среды (в первую очередь pH), т. к. колебания температуры СВ зависят от времени года, а значения pH — от состава СВ и могут меняться в течение дня и недели.

Для ограничения объекта исследования проведен обзор публикаций о типах и видах назначаемых антибиотиков и их выявлении в СВ. Анализ показал, что в последние годы одним из часто назначаемых препаратов, по данным [19], является цефалоспорин, который как разновидность антибактериального средства, обладающего спектральной активностью и высокой эффективностью, сыграл важную роль в применении цефалоспоринов у тяжелых больных COVID-19. Стоит отметить, что наиболее часто обнаруживаемый в СВ антибиотик цефалоспориновой группы — это цефотаксим (табл.).

Обнаруженные концентрации антибиотиков цефалоспориновой группы в сточных водах разных стран

Вид	Концентрация, нг/л		Источник стоков	Страна	Источник
	неочищенные стоки	очищенные стоки			
Цефазолин	94,72...146,58	14,58...24,79	Городские / Больничные	Испания	[10]
Цефепим	5180	н.д.	Больничные	Бразилия	[11]
Цефепим	8520	н.д.	Больничные	Румыния	[12]
Цефиксим	н.д.	49,85...422,1	Городские	Иран	[13]
Цефотаксим	252,83...363,53	207,87...223,36	Городские / Больничные	Испания	[10]
Цефотаксим	143,69...240,38	43	Больничные	Вьетнам	[14]
Цефотаксим	н. д.	10...119	Промышленные	Вьетнам	[14]

Частоту обнаружения в СВ можно объяснить тем, что цефотаксим (CFX) относится к одной из самых важных и представительных групп среди современных антибиотиков — цефалоспоринов 3-го поколения, в клинически значимой концентрации [20, 21]. Цефотаксим был открыт в 1976 г., используется в коммерческих целях с 1980 г. Он включен в список основных лекарственных средств ВОЗ для лечения бактериальных инфекций легкой и средней степени тяжести. Это антибиотик с молекулярной массой 455,47 г/моль и формулой ((6R-[бальфа,7бета(Z)])-3-[(ацетилокси)метил]-7-[[2-амино-4-тиазолил) (метоксиимино)ацетил]амино]-8-оксо-5-тиа-1-азабицикло[4.2.0]окт-2-ен-2-карбоновая кислота (в т. ч. в виде натриевой соли) [16]. Его молекулярная структура представлена на рис. 2. Резистентность к этому антибиотику имеет важное клиническое значение из-за растущего числа резистентных бактерий, несущих гены β-лактамаз расширенного спектра, которые часто связаны с множественной лекарственной устойчивостью и широко распространены в окружающей среде [19].

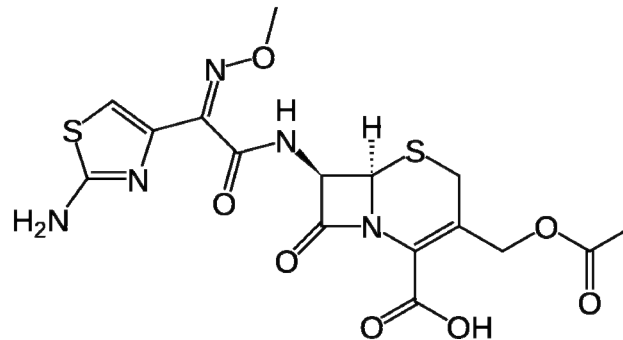


Рис. 2. Молекулярная структура антибиотика CFX

Цель данной работы — определение возможности обнаружения с помощью спектрофотометрического метода антибиотика CFX в модельных растворах при изменении pH.

Полученные результаты позволят масштабировать методику для оценки загрязненности СВ и поверхностных вод другими лекарственными препаратами, в первую очередь на территории России, т. к. в отечественных источниках присутствует лишь несколько результатов — это работы Л. Ф. Долиной и О. П. Савиной [22], Г. М. Баренбойма, М. А. Чигановой и И. В. Березовской [6, 7], в которых приводятся обнаруженные концентрации таких лекарственных препаратов, как N-бутил-бензолсульфамид ($0,026 \text{ мг/дм}^3$), 12-метатетрадекановая кислота ($0,038 \text{ мг/дм}^3$), бета-ситостерол ($0,005 \text{ мг/дм}^3$), диклофенак ($0,000025 \dots 0,00035 \text{ мг/дм}^3$), ампициллин ($0,000005 \text{ мг/дм}^3$), тетрациклин ($0,00662 \text{ мг/дм}^3$), в отдельных водоемах России. Отсутствие исследований присутствия или отсутствия фармацевтических препаратов, в т. ч. антибиотиков, в большинстве водоемов российских регионов и в СВ позволяет говорить об актуальности данной работы.

В качестве основного метода исследований был выбран спектрофотометрический метод, как наиболее доступный для большинства лабораторий биохимического анализа на очистных сооружениях сточных вод (ОССВ).

Экспериментальные исследования проводились на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ (рис. 3), с помощью которого проведена оценка:

- возможности обнаружения с помощью прибора минимальных концентраций CFX в модельных растворах;
- влияния pH среды на определение CFX в модельных растворах.

Для каждой серии опытов готовился модельный раствор из дистиллированной воды и CFX концентрацией $2,094 \text{ мкг/дм}^3$, что в несколько раз больше обнаруженных значений в СВ (см. табл.), поскольку при проведении опытов с минимальной концентрацией антибиотика в модельном растворе возрастала приборная ошибка. Минимальная концентрация CFX в модельных растворах, которую получалось выявить с помощью спектрофотометра ПЭ-5400 УФ, составила 250 нг/дм^3 .

Для оценки изменения оптической плотности CFX при разных значениях pH ($0,2 \dots 11,9$) в емкости с раствором CFX добавлялись буферные растворы NaOH и HCl. Значение pH измеряли с помощью портативного pH-метра (рис. 4).



Рис. 3. Внешний вид спектрофотометра ПЭ-5400 УФ



Рис. 4. Внешний вид портативного рН-метра

После установки пределов обнаружения CFХ в модельных растворах для работы со спектрофотометром ПЭ-5400 УФ определена длина волны, которой соответствовало максимальное значение оптической плотности A для опытного образца модельного раствора с концентрацией CFХ $2,094 \text{ мкг/дм}^3$, — 300 нм (рис. 5).

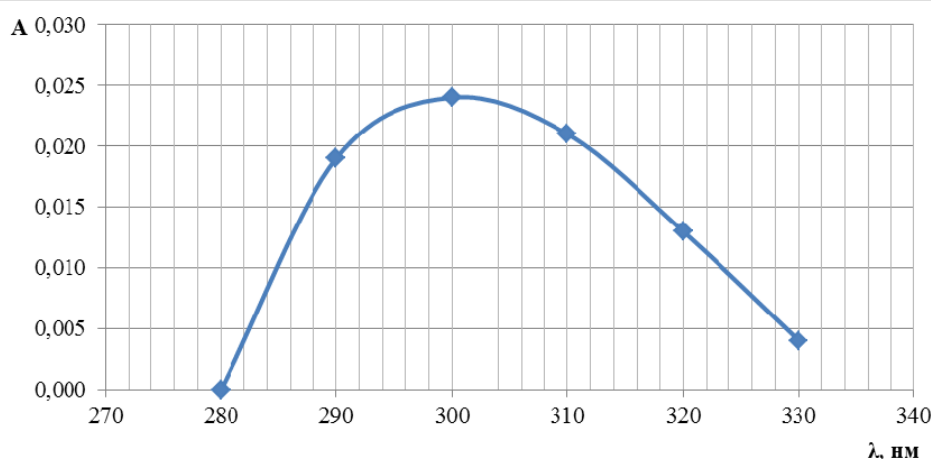


Рис. 5. Зависимость оптической плотности A от длины волны λ на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ в модельном растворе антибиотика CFХ

Для определения влияния рН среды на обнаружение CFХ в модельных растворах проведена серия опытов по определению оптической плотности поглощения при разных значениях рН среды (рис. 6). Длина волны спектрофотометра установлена в диапазоне 280...300 нм, т. к. предыдущие измерения показали, что для исследуемого антибиотика максимум поглощения находится в указанном диапазоне.

Анализ полученных зависимостей показывает, что оптическая плотность модельного раствора антибиотика при рН 6,0...6,4 стремится к минимальному значению, предположительно из-за особенностей химического строения данного амфотерного типа антибиотиков.

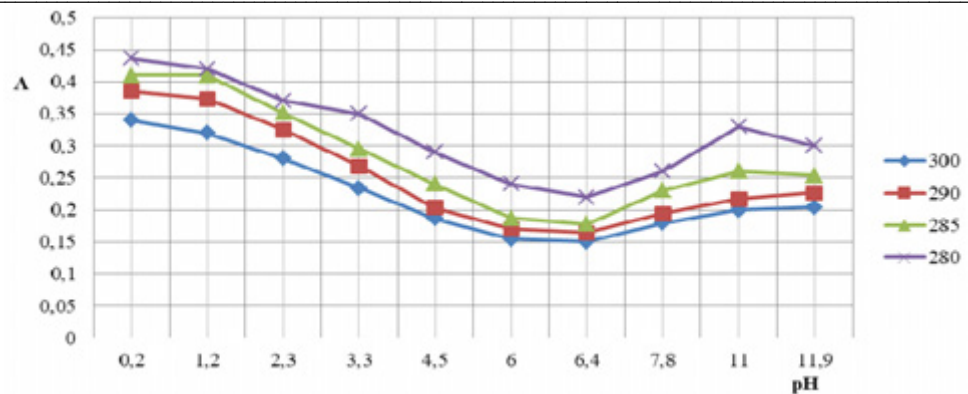


Рис. 6. Изменение оптической плотности A от pH среды при длине волн в диапазоне 280...300 нм

В результате измерений установлено, что перераспределение ионных форм антибиотика CFХ в исследуемом водном растворе проявляется в спектральных характеристиках при изменении величины pH. Положение основного максимума поглощения ($\lambda = 280$ нм) фиксировалось в кислой среде в диапазоне значений pH раствора 0,2...2,0. Увеличение pH до 6,0 приводило к появлению в растворе катионов антибиотика, что отражалось в уменьшении интенсивности оптической плотности A .

Увеличение pH до 11,9 приводило к незначительному увеличению оптической плотности A . В области значений pH 4,0...8,0 спад максимума поглощения предположительно обусловлен присутствием в растворе преимущественно молекулярной формы CFХ. Появление в растворе катионов CFХ при изменении pH от 0,2 до 2,0 и анионов при pH больше 10,0 отмечалось на спектре увеличением его интенсивности оптической плотности A .

Заключение

Спектрофотометрический метод отлично зарекомендовал себя при исследовании содержания антибиотика CFХ в СВ. Измерения спектров поглощения на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ показали, что пик оптической плотности A для модельных растворов CFХ приближен к ультрафиолетовому диапазону. Для дальнейших исследований содержания CFХ в СВ и поверхностных водах можно рекомендовать использование оптических приборов, работающих в диапазоне 50...700 нм.

Измерения интенсивности поглощения в модельных растворах антибиотика CFХ при изменении pH от 0,2 до 2,0 показывают смещение пика оптической плотности на 280 нм, при увеличении pH наблюдается спад максимума поглощения. Для идентификации CFХ в многокомпонентной среде достаточно изменить среду на кислую, что должно привести к появлению пиков поглощения, стремящихся к минимуму при pH от 6,0 до 6,4 в диапазоне длин волн 280...300 нм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хецуриани Е. Д., Колмакова Т. С., Акименко М. А., Хецуриани Т. Е. Экологическая безопасность водной среды — залог здорового будущего // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 156—164.

2. Губанов Л. Н., Камраева И. В., Гусаров М. Л., Колпаков М. В. Разработка технологии глубокой доочистки сточных вод фармзавода // Приволжский научный журнал. 2009. № 4(12). С. 148—152.
3. Оценка загрязненности городских сточных вод антибиотическими препаратами цефалоспориновой группы и возможности их определения спектрофотометрическим методом / А. А. Абрамова, А. М. Батуева, А. В. Васильев, М. Ю. Дягелев, Е. Д. Наумкина, И. О. Чурсин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. № 2(42). С. 53—65.
4. Nieto-Juárez J. I., Torres-Palma R. A., Botero-Coy A. M., Hernández F. Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru // Environment International. 2021. Vol. 155. Pp. 1066—74.
5. Мезрин Н. М., Абрамова А. А., Дягелев М. Ю., Исаков В. Г. Оценка специфических загрязнений в составе городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 7. С. 34—41.
6. Баренбойм Г. М., Чиганова М. А. Загрязнение поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами // Вода: химия и экология. 2012. № 10(52). С. 40—46.
7. Баренбойм Г. М., Чиганова М. А., Березовская И. В. Особенности загрязнения поверхностных водных объектов компонентами лекарственных средств // Водное хозяйство России. 2014. № 3. С. 131—141.
8. Роль очистных сооружений сточных вод в распространении генов резистентности к антибиотикам / И. С. Сазыкин, Т. Н. Ажогина, Л. Е. Хмелевцова, М. И. Хаммами, М. А. Сазыкина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 223—230.
9. Перспективы использования электрохимических способов очистки сточных вод для достижения различных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, А. А. Геращенко, В. С. Телятникова, А. Ю. Гильгенберг, Д. В. Котломина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 46—60.
10. Выбор оптимальной технологии локальной очистки сточных вод на примере предприятия табачной промышленности / Д. О. Игнаткина, А. А. Геращенко, А. П. Поздняков, Е. В. Федулова, Д. В. Котломина, Ю. Ю. Юрьев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 2(83). С. 84—96.
11. Classification of antibiotics contained in urban wastewater / A. A. Abramova, V. G. Isakov, A. M. Nepogodin, E. V. Grakhova, M. Y. Dyagelev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. No. 5. Pp. 052078.
12. Specific pollutants in urban wastewater and their impact on the environment / A. A. Abramova, V. G. Isakov, M. Y. Dyagelev, A. M. Nepogodin, E. V. Grakhova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 981. No. 3. Pp. 032083.
13. Azad H., Mohsennia M., Cheng C., Amini A. Cross-linked poly(vinyl butyral) amine-functionalized polyacrylonitrile adsorptive membrane nano-composited with CeO₂ nanoparticles for simultaneous aqueous removal of heavy metals and cefotaxime // Chemical Engineering Journal. 2022. Vol. 435. Iss. 1. Pp. 1348—49.
14. Mechanisms of antimicrobial resistance (AMR) and alternative approaches to overcome AMR / C.-L. Moo, S.-K. Yang, K. Yusoff, M. Ajat, W. Thomas, A. Abushelaibi, S.-H.-E. Lim, K. S. Lai // Current Drug Discovery Technologies. 2020. Vol. 17. No. 4. Pp. 430—447.
15. Jansen K. U., Anderson A. S. The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR) // Human Vaccines and Immunotherapeutics. 2018. Vol. 14. No. 9. Pp. 2142—2149.
16. Patel S., Sharma J., Gole V. L. Removal of antibiotic cefixime from wastewater using UVC/Sodium persulphate system // Materials Today: Proceedings. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.198>.
17. Козлова М. А. Исследование лекарственного загрязнения водных объектов в зонах сброса сточных вод городов и промышленных предприятий // Вода: химия и экология. 2019. № 3—6. С. 30—36.
18. Monteiro S. C., Boxall A. B. A. Occurrence and Fate of Human Pharmaceuticals in the Environment // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 2010. Vol. 202. Iss. 1. Pp. 53—154.
19. Marano R. B. M., Fernande T., Manaia C. M A global multinational survey of cefotaxime-resistant coliforms in urban wastewater treatment plants // Environment International. 2020. Vol. 144. Pp. 106035.

20. *Belghadr I., Khorramabadi G. S., Godini H., Almasian M.* The removal of the cefixime antibiotic from aqueous solution using an advanced oxidation process (UV/H₂O₂) // *Desalination and Water Treatment*. 2015. Vol. 55. No. 4. Pp. 1068—1075.

21. *Wang X.-H., Lin A.-Y.-C.* Phototransformation of cephalosporin antibiotics in an aqueous environment results in higher toxicity // *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46. Pp. 12417—12426.

22. *Долина Л. Ф. Савина О. П.* Очистка вод от остатков лекарственных препаратов // *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 3(75). С. 36—51.

© Дягелев М. Ю., 2023

*Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Дягелев М. Ю. Опыт выявления поллютанта в модельном растворе спектрофотометрическим методом // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 149—156.

Об авторе:

Дягелев Михаил Юрьевич — канд. техн. наук, доц. каф. водоснабжения и водоподготовки, Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова. Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая 7; m.yu.dyagelev@istu.ru

Mikhail Yu. Dyagelev

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

EXPERIENCE OF DETECTING A POLLUTANT IN A MODEL SOLUTION BY SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

This paper presents the results of work on the determination of a pollutant in a model solution — the antibiotic cefotaxime using the spectrophotometric method. In several series of experiments, the minimum concentrations of cefotaxime in model solutions, which can be detected using the spectrophotometer PE-5400 UV, were established; a feature of cefotaxime was revealed — increase of the optical density peak in samples when the pH is shifted to an acidic environment, especially at pH values from 0.2 to 2.0. The obtained values of optical density and absorption spectra of the model solution of cefotaxime can be used when developing a technique for the detection of antibiotics in various media, including urban wastewater.

Key words: wastewater, pollutant, antibiotics, spectroscopy, wastewater treatment, micro-pollutants.

For citation:

Dyagelev M. Yu. [Experience of detecting a pollutant in a model solution by spectrophotometric method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 149—156.

About author:

Mikhail Yu. Dyagelev — Candidate of Engineering Sciences, Kalashnikov Izhevsk State Technical University. 7, Studencheskaya st., Izhevsk, 426069, Russian Federation; m.yu.dyagelev@istu.ru

УДК 665.455:006.354

О. В. Матвиенко, Н. С. Фирсанова

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ СГУЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Проведено исследование установившегося течения предельно дилатантной сгущающейся при сдвиге жидкости в цилиндрической трубе, определены зависимость расхода жидкости от перепада давления, зависимости для радиального распределения скорости и эффективной вязкости течения. Установлено, что при малых перепадах давления неньютоновские свойства среды можно не учитывать и с точностью, достаточной для инженерных расчетов, рассматривать течение ньютоновской жидкости с вязкостью, равной вязкости при нулевой скорости сдвига. При больших значениях перепада давления происходит сгущение и уплотнение среды, значительный рост эффективной вязкости, зависимость расхода жидкости от перепада давления становится нелинейной. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от перепада давления является немонотонной и характеризуется наличием минимума.

Ключевые слова: реология, вязкость, неньютоновские жидкости, сгущающиеся среды, дилатантность, гидравлическое сопротивление.

Суспензии и эмульсии относятся к материалам, роль которых в промышленном производстве очень велика. Их вязкость зависит от соотношения фаз, степени дисперсности, скорости течения и может сильно изменяться в технологическом процессе [1—3]. Реологические свойства таких систем определяют их технологические характеристики. Поэтому вопросам реологии уделено значительное внимание многих исследователей [4—12].

Для описания деформационного поведения различных структурированных дисперсных сред существует множество реологических моделей, передающих в определенном диапазоне напряжений сдвига отдельные особенности реального течения [13—16].

Моделирование гидродинамики течения пленки неньютоновской суспензии в цилиндрическом прямоточном гидроциклоне и расчет извлечения частиц твердой фазы при разделении неньютоновских суспензий с привлечением полных уравнений реодинамики выполнено в [18, 19]. Для описания реологических свойств суспензии использовано степенное реологическое уравнение Оствальда — де Вейля.

В [20] исследован процесс заполнения канала реологически сложной жидкостью со свободной поверхностью. Получены кинематические и динамические характеристики рассматриваемых течений в зависимости от определяющих параметров процесса и реологических свойств.

Математическому моделированию течений неньютоновских сред при наличии закрутки потока на входе в канал посвящены работы [21—26]. В них приведены результаты исследований влияния закрутки потока на структуру течения и формирование рециркуляционных зон для потоков жидкостей различной реологии.

В [27] исследована устойчивость жесткого состояния наклонного слоя нелинейно вязкой жидкости Уильямсона. Модель Уильямсона может

применяться для описания движения псевдопластических жидкостей, близких по своим свойствам к структурированным средам. Но в отличие от моделей структурированных сред в реологическом уравнении Уильямсона нет предельного напряжения сдвига.

В [28] приведены результаты исследования процессов модифицирования битумов в кавитационно-смесительном диспергаторе и инжекторном смесителе. В [29] разработана физико-математическая модель и выполнен расчет распада струи битума в закрученном потоке водной фазы. Показано, что рост закрутки потока приводит к интенсификации турбулентности в потоке и способствует более быстрому распаду струи. В [30] проведено численное исследование перехода к турбулентному режиму течения внутренних закрученных потоков битумных вязжущих. Исследованию смешения коаксиальных закрученных потоков для приготовления битумных дисперсных систем посвящено [31].

Жидкости, сгущающиеся при воздействии касательных напряжений, представляют собой материал, вязкость которого резко увеличивается при увеличении скорости сдвига выше критического значения. Эти неньютоновские жидкости называются дилатантными жидкостями. При низких скоростях сдвига жидкости имеют низкую вязкость, действуют как смазка и легко текут. Однако при более высоких скоростях сдвига гидродинамические силы, действующие на частицы, преодолевают силы отталкивания. Это приводит к формированию гидрокластеров. Жидкость не может заполнить промежутки, создавшиеся между частицами, и трение сопротивления значительно увеличивается, вызывая увеличение вязкости [32]. Предельно дилатантные жидкости характеризуются резким увеличением вязкости при достижении критической скорости сдвига. В этом случае происходит агрегация гидрокластеров и формирование жесткой структуры. При уменьшении скорости сдвига гидрокластеры распадаются, так что кажущееся твердым вещество превращается в жидкость.

Механизм образования и распада гидрокластеров был экспериментально обнаружен в экспериментах [33] и подтвержден при компьютерном моделировании [34].

В [35] предложена реологическая модель среды с «отвердеванием». Особенность реологического поведения такой среды заключается в следующем. Кривая течения, построенная в координатах «скорость сдвига — касательное напряжение», при приближении скорости сдвига к некоторому критическому (но конечному) значению демонстрирует резкое возрастание своей кривизны. Дилатантное поведение жидкости усиливается настолько, что наиболее деформируемые области течения (где скорость сдвига непосредственно приближается к своему критическому значению) начинают вести себя подобно твердому телу.

Целью настоящей работы является исследование установившегося течения в цилиндрической трубе круглого сечения радиуса R предельно дилатантной сгущающейся при сдвиге жидкости.

Для построения моделей жидких сред нужно установить связь между девиаторами тензора скоростей деформации и тензора напряжений [1, 3]. В тензорно линейных моделях такая связь задается соотношением:

$$\tau_{ij} = 2\mu_{\text{eff}} \dot{\varepsilon}_{ij}^D. \quad (1)$$

В качестве вторых инвариантов тензоров $\dot{\varepsilon}$ и τ удобно ввести [4]:

$$U = \sqrt{2\dot{\varepsilon}_{ij}^D \dot{\varepsilon}_{ji}^D},$$

$$T = \sqrt{\tau_{ij} \tau_{ij} / 2}, \quad (2)$$

где $\dot{\varepsilon}_{ij}^D = \dot{\varepsilon}_{ij} - \frac{1}{3}\dot{\varepsilon}_{kk}$ — компоненты девиатора тензора скоростей деформации.

Из соотношения (1) вытекает следующее соотношение между инвариантами:

$$T = \mu_{\text{eff}} U, \quad (3)$$

где μ_{eff} — коэффициент эффективной динамической вязкости.

Если связь (3) установлена, то, подставляя ее в уравнения движения и присоединяя уравнение неразрывности, а также формулируя необходимые начальные и граничные условия, получим замкнутую систему для определения поля течения.

Реологический закон предельно дилатантной сгущающейся при сдвиге среды для установившегося течения в канале можно записать в виде:

$$\tau_{rx} = \frac{\sigma_Y}{U_* - U} \frac{du}{dr} = -\frac{\sigma_Y}{U_* - U} U,$$

$$U = \left| \frac{du}{dr} \right|. \quad (4)$$

В случае стабилизированного осесимметричного течения уравнение динамики вязкой жидкости приобретает вид:

$$\frac{1}{r} \frac{d\tau_{rx} r}{dr} = - \left| \frac{dp}{dx} \right|. \quad (5)$$

Интегрирование уравнения (1) позволяет определить зависимость сдвигового напряжения от радиальной координаты:

$$\tau_{rx} = -\frac{1}{2} \left| \frac{dp}{dx} \right| r. \quad (6)$$

С учетом реологического соотношения (3) определим интенсивность скоростей сдвиговых деформаций:

$$U = \frac{\frac{1}{2} \left| \frac{dp}{dx} \right| r U_*}{\left(\sigma_Y + \frac{1}{2} \left| \frac{dp}{dx} \right| r \right)} = \frac{U_* r}{r_Y + r}, \quad (7)$$

где $r_Y = \frac{2\sigma_Y}{|dp/dx|}$ — параметр модели.

С учетом соотношения (4) уравнение (7) может быть записано в виде:

$$\frac{du}{dr} = -\frac{U_* r}{r_Y + r}. \quad (8)$$

Выпишем необходимые граничные условия. На оси течения должны выполняться условия симметрии, а на стенке трубы — условия прилипания. В результате граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} r = 0, \quad \frac{du}{dr} &= 0; \\ r = R, \quad u &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Интегрирование уравнения (8) позволяет определить радиальное распределение осевой скорости в канале:

$$u = -U_* \left[r - R - r_Y \ln \left(\frac{r_Y + r}{r_Y + R} \right) \right]. \quad (10)$$

Максимальная скорость жидкости достигается на оси потока:

$$u_{\max} = U_* r_Y \left[\frac{R}{r_Y} - \ln \left(1 + \frac{R}{r_Y} \right) \right]. \quad (11)$$

Расход жидкости через поперечное сечение трубы вычисляется по формуле:

$$Q = 2\pi \int_0^R u r dr = 2\pi U_* \left[\frac{R^3}{6} - \frac{r_Y^3}{2} \ln \left(\frac{R + r_Y}{r_Y} \right) - \frac{1}{4} r_Y (R^2 - 2Rr_Y) \right], \quad (12)$$

а среднерасходная скорость определяется как:

$$\bar{u} = \frac{Q}{\pi R^2} = 2U_* \left[\frac{R}{6} - \frac{r_Y^3}{2R^2} \ln \left(\frac{R + r_Y}{r_Y} \right) - \frac{1}{4} r_Y \left(1 - 2\frac{r_Y}{R} \right) \right]. \quad (13)$$

Вязкие свойства потока можно характеризовать двумя величинами: эффективной вязкостью $\mu_{\text{эф}}$, определяющей локальные свойства течения, и среднерасходной вязкостью $\bar{\mu}$, определяющей интегральные свойства потока.

Эффективная вязкость сгущающейся жидкости для гидродинамически стабилизированного течения в цилиндрической трубе может быть рассчитана с помощью реологического соотношения:

$$\mu_{\text{эф}} = \frac{\sigma_Y}{U_* - U}. \quad (14)$$

Для определения распределения эффективной по радиусу трубы воспользуемся соотношением (7):

$$\mu_{\text{эф}} = \frac{\sigma_Y (r_Y + r)}{U_* r_Y} = \frac{\sigma_Y}{U_*} \left(1 + \frac{r}{r_Y} \right). \quad (15)$$

Определим среднерасходную вязкость неньютоновской жидкости $\bar{\mu}$ как вязкость ньютоновской жидкости, движущейся со среднерасходной скоростью \bar{u} в трубе радиусом R под действием перепада давления $\left| \frac{dp}{dx} \right|$.

Введение среднерасходной вязкости позволяет при проведении гидравлических расчетов вместо неньютоновской среды рассматривать ньютоновскую жидкость с вязкостью $\bar{\mu}$. Таким образом, среднерасходная вязкость потока будет равна:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{8} \frac{\sigma_Y R}{U_* r_Y} \left[\frac{1}{6} - \frac{1}{2} \left(\frac{r_Y}{R} \right)^3 \ln \left(1 + \frac{R_Y}{r_Y} \right) - \frac{1}{4} \frac{r_Y}{R} \left(1 - 2 \frac{r_Y}{R} \right) \right]^{-1}. \quad (16)$$

В технических расчетах принято связывать перепад давления со среднерасходной скоростью течения с использованием коэффициента гидравлического сопротивления ζ , который характеризует безразмерное падение давления на единицу длины канала. Таким образом, перепад давления пропорционален динамическому напору и определяется зависимостью Дарси — Вейсбаха:

$$\left| \frac{dp}{dx} \right| = \zeta \frac{\rho \bar{u}^2}{4R}. \quad (17)$$

Подставляя в равенство (17) значения среднерасходной скорости из формулы (13), получим выражения для коэффициента гидравлического сопротивления:

$$\zeta = 2 \frac{\sigma_Y}{\rho U_*^2 r_Y R} \left[\frac{1}{6} - \frac{r_Y^3}{2R^3} \ln \left(\frac{R + r_Y}{r_Y} \right) - \frac{1}{4} \frac{r_Y}{R} \left(1 - 2 \frac{r_Y}{R} \right) \right]^{-2}. \quad (18)$$

Перейдем к анализу полученных результатов. При математическом моделировании диапазон изменения параметров был выбран следующим: напряжение структурирования — $\sigma_Y = 1 \dots 40$ Па; Предельная скорость сдвига — $U_* = 5 \dots 80$ с⁻¹; перепад давления — $\left| dp/dx \right| = 100 \dots 2000$ Па/м; радиус канала составлял $R = 0,1$ м.

Проанализируем влияние реологических параметров U_* и σ_Y , а также перепада давления $\left| dp/dx \right|$ на структуру течения сгущающейся жидкости.

Радиальное распределение скорости потока, рассчитанное для различных значений перепада давления и реологических параметров, представлено на рис. 1—3. На рисунке 1 показано радиальное распределение скорости, рассчитанное для различных значений предельной скорости сдвига U_* . Как видно из рисунка, зависимость $u(r)$ является монотонно убывающей, скорость потока уменьшается от оси к стенке трубы. Скорость течения на оси трубы достигает максимального значения, а на стенках трубы вследствие прилипания равна 0. В пристеночной области ($10r_Y < r$) распределение скорости близко к линейному, что является характерным для течения дилатантных

сред. Нелинейные эффекты проявляются в периферийной и приосевой части потока. С увеличением значений U_* происходит уменьшение эффективной вязкости потока. При этом течение становится возможным при более высоких скоростях деформации. В результате среда становится более подвижной. Значения скорости увеличиваются по всему сечению трубы. Влияние характерного напряжения среды σ_y на структуру течения иллюстрирует рис. 2. Увеличение эффективной вязкости, вызванное увеличением σ_y , приводит к уменьшению скорости потока по всему сечению трубы. С ростом перепада давления увеличивается энергия, сообщаемая потоку. В результате этого скорость потока возрастает (рис. 3).

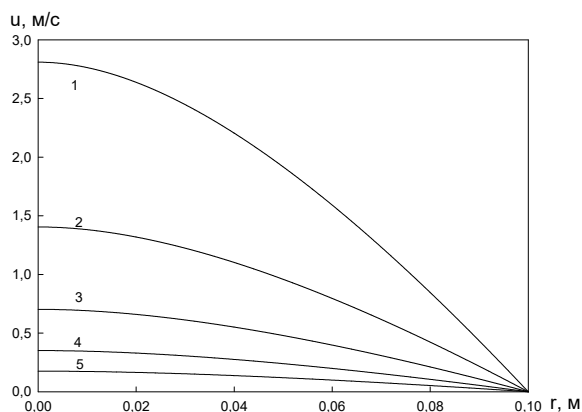


Рис. 1. Радиальное распределение скорости, $|dp/dx| = 250 \text{ Па/м}$, $\sigma_y = 10 \text{ Па}$:
1 — $U_* = 80 \text{ с}^{-1}$; 2 — $U_* = 40 \text{ с}^{-1}$; 3 — $U_* = 20 \text{ с}^{-1}$; 4 — $U_* = 10 \text{ с}^{-1}$; 5 — $U_* = 5 \text{ с}^{-1}$

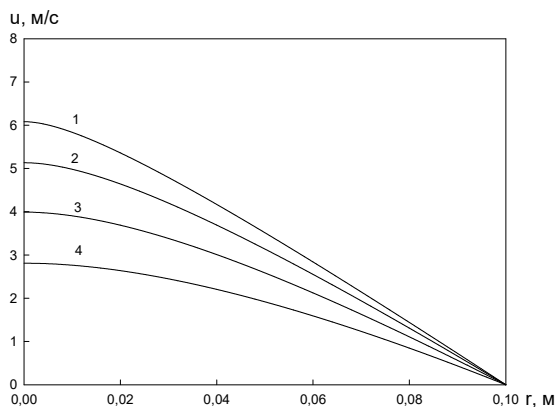


Рис. 2. Радиальное распределение скорости: $|dp/dx| = 250 \text{ Па/м}$, $U_* = 80 \text{ с}^{-1}$:
1 — $\sigma_y = 1,25 \text{ Па}$; 2 — $\sigma_y = 2,5 \text{ Па}$; 3 — $\sigma_y = 5 \text{ Па}$; 4 — $\sigma_y = 10 \text{ Па}$

Перейдем к анализу расходных характеристик. Для характеристики объемного расхода жидкости через поперечное сечение трубы удобно использовать среднерасходную скорость течения. Величина среднерасходной скорости про-

порциональна предельной скорости сдвиговых деформаций, а также зависит от напряжения структурирования σ_Y и радиуса канала R . На рисунке 4 показана зависимость среднерасходной скорости от перепада давления $|dp/dx|$.

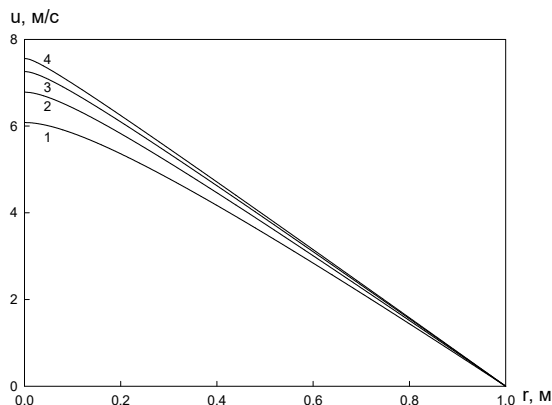


Рис. 3. Радиальное распределение скорости, $\sigma_Y = 1,25 \text{ Па}$, $U_* = 80 \text{ с}^{-1}$: 1 — $|dp/dx| = 250 \text{ Па/м}$; 2 — $|dp/dx| = 500 \text{ Па/м}$; 3 — $|dp/dx| = 1000 \text{ Па/м}$; 4 — $|dp/dx| = 2000 \text{ Па/м}$

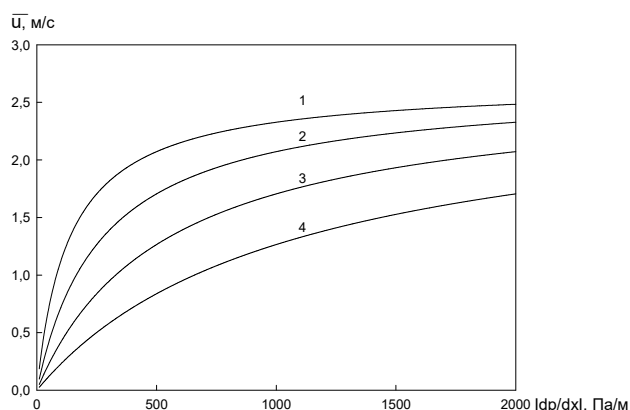


Рис. 4. Зависимость среднерасходной скорости от перепада давления $|dp/dx|$, $U_* = 80 \text{ с}^{-1}$: 1 — $\sigma_Y = 5 \text{ Па}$; 2 — $\sigma_Y = 10 \text{ Па}$; 3 — $\sigma_Y = 20 \text{ Па}$; 4 — $\sigma_Y = 40 \text{ Па}$

С увеличением перепада давления увеличивается энергия, сообщаемая потоку, что приводит к увеличению скорости течения. При малых значениях $|dp/dx|$ зависимость среднерасходной скорости от перепада давления сгущающейся жидкости $\bar{u} = \bar{u}(|dp/dx|)$ близка к линейной. При малых перепадах давления среднерасходная скорость сгущающейся жидкости близка по величине среднерасходной скорости ньютоновской жидкости с вязкостью, равной эффективной вязкости среды при нулевой скорости сдвига $\mu_0 = \frac{\sigma_Y}{U_*}$. При больших значениях $|dp/dx|$ в результате действия сил давления происходит

сгущение и уплотнение среды, что вызывает замедление роста \bar{u} при увеличении перепада давления (см. рис. 4).

Анализ влияния напряжения структурирования σ_Y на зависимость величины среднерасходной скорости показывает, что с ростом σ_Y происходит уменьшение \bar{u} .

На рисунке 5 показано изменение коэффициента гидравлического сопротивления ζ с ростом перепада давления $|dp/dx|$ для различных значений реологических параметров. Как видно из рис. 5, зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от перепада давления является немонотонной. При низких значениях $|dp/dx|$, когда в потоке преобладают ньютоновские свойства, рост перепада давления приводит к росту кинетической энергии потока и уменьшению гидравлического сопротивления. При больших значениях $|dp/dx|$ гидравлическое сопротивление потока увеличивается, что связано со сгущением среды в результате ее структурировании. С увеличением значений напряжения структурирования возрастает диссипация механической энергии потока, что приводит к росту гидравлического сопротивления.

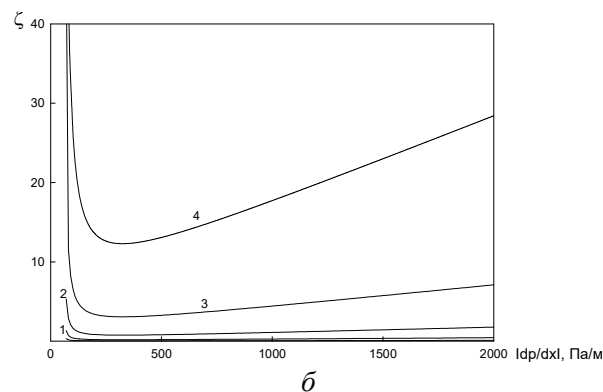
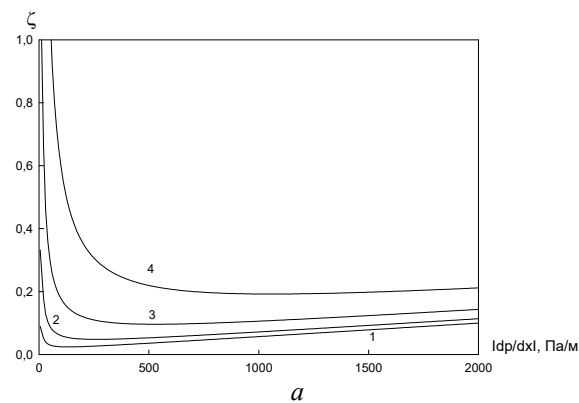


Рис. 5 Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ζ от перепада давления $|dp/dx|$, $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$, $U_* = 80 \text{ с}^{-1}$ — а: 1 — $\sigma_Y = 5$ Па; 2 — $\sigma_Y = 10$ Па; 3 — $\sigma_Y = 20$ Па; 4 — $\sigma_Y = 40$ Па; б: 1 — $U_* = 40 \text{ с}^{-1}$; 2 — $U_* = 20 \text{ с}^{-1}$; 3 — $U_* = 10 \text{ с}^{-1}$; 4 — $U_* = 5 \text{ с}^{-1}$

С увеличением предельной скорости сдвиговых деформаций U_* увеличивается диапазон вязкого течения, сгущение среды происходит при более высоких значениях скоростей сдвиговых деформаций. В результате этого с ростом U_* гидравлическое сопротивление в потоке уменьшается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Malkin A. Ya., Isayev A. I. Rheology: Concepts, methods and applications. Toronto : ChemTec Publishing, 2006. 474 p.
2. Кутепов А. М., Полянин Л. Д., Запryanов З. Д. Химическая гидродинамика : справочное пособие. М. : Бюро Квантум, 1996. 336 с.
3. Матвиенко О. В., Унгер Ф. Г., Базуев В. П. Математические модели производственных процессов для приготовления битумных дисперсных систем. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2015. 336 с.
4. Климов Д. М., Петров А. Г., Георгиевский Д. В. Вязкопластические течения: динамический хаос, устойчивость и перемешивание. М. : Наука, 2005. 394 с.
5. Wilkinson W. L. Non-Newtonian Fluids: Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer. Elsevier Science & Technology, 1960. 138 p.
6. Barnes H. A. Thixotropy a review. Non-Newton // Fluid Mech. 1997. Vol. 70. Pp. 1—33.
7. Barnes H. A. The yield stress a review or 'panta rei' everything flows? Non-Newton // Fluid Mech. 1999. Vol. 81. Pp. 1—33.
8. Fredrickson A. G. Principles and Applications of Rheology. Prentice-Hall : Upper Saddle River, 1964. 326 p.
9. Bingham E. C. Fluidity and plasticity. New York : McGraw-Hill, 1922. 448 p.
10. Herschel W. H., Bulkley R. Konsistenzmessungen von Gummi-Benzol-Loesungen // Kolloid Z. 1926. Vol. 39. Pp. 291—300.
11. Casson N. Rheology of disperse systems. Pergamon Press, Oxford, 1959. 223 p.
12. Островский Г. М. Прикладная механика неоднородных сред. СПб. : Наука, 2000. 464 с.
13. Матвиенко О. В. Исследование установившегося течения псевдопластической жидкости, описываемой моделью Сиско, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2018. № 55. С. 99—112.
14. Исследование установившегося течения вязкопластического битумного вязущего, описываемого моделью Шведова — Бингама, в цилиндрической трубе / О. В. Матвиенко, В. П. Базуев, Н. Р. Сабылина, А. Е. Асеева, А. А. Суртаева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 3. С. 158—177.
15. Течение битумного вязущего, описываемого моделью Оствальда — де Вейля, в цилиндрической трубе / О. В. Матвиенко, В. П. Базуев, И. С. Черкасов, А. Е. Асеева, В. Н. Веник // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 171—192.
16. Матвиенко О. В., Литвинова А. Е. Исследование установившегося течения высокопарафинистого битумного вязущего, описываемого моделью Балкли — Гершеля, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 4. С. 79—99.
17. Матвиенко О. В., Литвинова А. Е., Фирсанова Н. С. Исследование структуры течения полимерно-битумного вязущего, описываемого моделью Кросса, в трубе с внезапным расширением // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 5. С. 151—168.
18. Яблонский В. О. Расчет разделения суспензий с неньютоновской дисперсионной средой в прямоточном цилиндрическом гидроциклоне // Химическая промышленность Т. 82. № 1. 2005. С. 40—48.
19. Яблонский В. О., Рябчук Г. В. Течение реологически сложной суспензии в цилиндрическом гидроциклоне // Теоретические основы химической технологии. 2005. Т. 39. № 4. С. 355—361.
20. Борзенко Е. И., Якутенок В. А. Эволюция свободной поверхности при заполнении плоских каналов вязкой жидкостью // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2008. № 1. С. 24—30.

21. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Южанова Н. К. Математическое моделирование течения закрученного потока дилатантной жидкости в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 1. С. 192—199.
22. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Дзюльзон Н. К. Математическое моделирование течения закрученного потока вязкопластической жидкости в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 5. С. 1129—1137.
23. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Асеева А. Е. Математическое моделирование течения закрученного потока псевдопластической жидкости Балкли — Гершеля в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 1. С. 215—226.
24. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Асеева А. Е. Математическое моделирование течения закрученного потока дилатантной жидкости Балкли — Гершеля в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 6. С. 2641—2651.
25. Матвиенко О. В. Исследование теплообмена и формирования турбулентности во внутреннем закрученном потоке жидкости при низких числах Рейнольдса // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 4. С. 908—918.
26. Матвиенко О. В., Асеева А. Е. Математическое моделирование закрученного потока термовязкой псевдопластической жидкости Сиско в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 4. С. 857—869.
27. Перминов А. В. Устойчивость жесткого состояния обобщенной неньютоновской жидкости // Механика жидкости и газа. 2014. № 2. С. 6—15.
28. Базуев В. П., Матвиенко О. В., Вороненко В. Л. Моделирование процесса модифицирования битума в кавитационно-смесительном диспергаторе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 4. С. 121—128.
29. Матвиенко О. В., Эфа А. К., Базуев В. П., Евтюшкин Е. В. Численное моделирование распада турбулентной струи в спутном закрученном потоке // Известия вузов. Физика. 2006. Т. 49. № 6. С. 96—107.
30. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Южанова Н. К. Численное исследование перехода к турбулентному режиму течения внутренних закрученных потоков битумных вязких // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2. С. 132—143.
31. Matvienko O. V., Bazuev V. P., Venik V. N., Smirnova N. G. Numerical investigation of Herschel — Bulkley fluids mixing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineeri. 2015. Pp. 012—034.
32. Dynamic properties of sandwich structures with integrated shear thickening fluids / C. Fischer, S. A. Braun, P. E. Bourban, V. Michaud, C. J. G. Plummer, J. A. E. Manson // Smart Materials and Structures. 2006. Vol. 15. Pp. 1467—75.
33. Maranzano B. J., Wagner N. J. Flow small angle neutron scattering measurements of colloidal dispersion microstructure evolution through the shear thickening transition // Journal of Chemical Physics. 2002. Vol. 117. Pp. 10291—302.
34. Catherall A. A., Melrose J. R., Ball R. C. Shear thickening and order-disorder effects in concentrated colloids at high shear rates // Journal of Rheology. 2000. Vol. 44. Pp. 1—25.
35. Колодежнов В. Н., Капранчиков С. С., Веретенников А. С. Математическое моделирование диссипативного разогрева в цилиндрическом канале для жидкости, демонстрирующей проявление эффекта «отвердевания», при реализации первой схемы течения // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-1. С. 21—24.

© Матвиенко О. В., Фирсанова Н. С., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Матвиенко О. В., Фирсанова Н. С. Исследование установившегося течения сгущающейся жидкости в цилиндрической трубе // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 157—167.

Об авторах:

Матвиенко Олег Викторович — д-р физ.-мат. наук, проф., Томский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 634003, г. Томск, ул. Соляная, 2; matvolegv@mail.ru

Фирсанова Наталия Сергеевна — аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 634003, г. Томск, ул. Соляная, 2

Oleg V. Matvienko, Natalia S. Firsanova

Tomsk State University of Architecture and Building

STUDY OF THE STEADY FLOW OF A THICKENING LIQUID IN A CYLINDRICAL TUBE

The paper conducts a study of the established flow of the extremely dilatant condensing fluid in a cylindrical tube, determines the dependence of fluid flow on pressure drop, obtains dependencies for the radial distribution of velocity and effective viscosity of the flow. It has been established that with small pressure drops, the non-Newtonian properties of the medium can be ignored, and with an accuracy sufficient for engineering calculations, the flow of a Newtonian fluid with a viscosity of equal viscosity at zero shear rate can be considered. With large values of the pressure drop, thickening and compaction of the medium occurs. As a result, there is a significant increase in effective viscosity, the dependence of fluid flow on the differential pressure becomes nonlinear. The dependence of the coefficient of hydraulic resistance on the differential pressure is non-monotonous and is characterized by the presence of a minimum.

Key words: rheology, viscosity, non-Newtonian fluids, thickening media, dilatance, hydraulic resistance.

For citation:

Matvienko O. V., Firsanova N. S. [Study of the steady flow of a thickening liquid in a cylindrical tube]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Building. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 157—167.

About authors:

Oleg V. Matvienko — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building. 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russian Federation; matvo-legv@mail.ru

Natalia S. Firsanova — Postgraduate student, Tomsk State University of Architecture and Building. 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russian Federation

УДК 66.045.53

**Н. А. Меренцов^а, А. Б. Голованчиков^а, В. Н. Лебедев^б,
Д. А. Тезиков^в, В. В. Грошев^а, Д. А. Ускова^а**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг Волгоград-НИПИморнефть»*

^в *Волгоградская академия МВД России*

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ НАСАДОЧНЫЕ КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АППАРАТОВ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ

***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»***

В работе рассмотрены перспективы использования энерго- и ресурсосберегающих насадочных материалов на базе отходов металлообработки или полимерных отходов в виде скомпонованных контактных блоков аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды. Приведены классифицирующие методики обработки экспериментальных данных в области гидрогазодинамики, позволяющие дать заключение о пригодности исследуемых насадочных материалов в качестве контактных блоков тепло- и массообменных аппаратов различных промышленных назначений, а также результаты математического моделирования и расчета основных технологических и геометрических параметров аппарата испарительного охлаждения промышленной оборотной воды с классифицированным насадочным материалом S-BT5_{в-0,85}.

Ключевые слова: энерго- и ресурсосбережение, гидродинамика, газодинамика, тепло- и массообмен, насадочный материал, контактный блок, испарительное охлаждение, оборотная вода, градирни, системы водоснабжения.

Аппараты испарительного охлаждения промышленной оборотной воды находят широкое применение во многих отраслях промышленности: химической, нефтехимической, нефтегазоперерабатывающей, металлургической, строительной, пищевой и смежных отраслях, а также неразрывно связанных с замкнутыми оборотными циклами локальных систем оборотного водоснабжения энергетической и атомной промышленности [1—5]. Активно продолжается работа по исследованию протекающих тепло- и массообменных процессов [6—16], совершенствованию конструкций аппаратов и насадочных контактных блоков испарительного охлаждения [17—23].

Сформулируем основные требования, которым должны соответствовать насадочные материалы (насадочные блоки) аппаратов испарительного охлаждения:

выбор оптимальных режимов течения жидкости (оборотной воды) через насадочный блок: пленочные, капельные, капельно-пленочные, струйные и их комбинации;

обеспечение теплофизических характеристик, а именно коэффициентов тепло- и массоотдачи, позволяющих обеспечить требуемую глубину охлаждения оборотной воды и высокие показатели теплового КПД насадочного блока;

высокая проницаемость, обеспечивающая умеренные энергетические затраты аппаратов испарительного охлаждения, работающих в условиях принудительной конвекции, и позволяющая насадочным блокам свободно работать в условиях естественной тяги;

высокие показатели удерживающей способности насадочного блока по жидкости (обеспечивающей требуемое время пребывания жидкости в контактных теплообменных блоках) и интенсивный воздухообмен в условиях развитых фильтрационных течений воздушного потока через насадочный блок, интенсивно омывающего теплообменные поверхности капель и пленок, развиваемые и активно обновляемые в насадочном блоке;

минимизация уноса капельной влаги из аппарата;

достаточная химическая стойкость и механическая прочность скомпонованных насадочных блоков аппаратов;

минимальный удельный вес, простота, низкая стоимость и др.

Большинство указанных требований при определенных условиях могут обеспечить не только специализированные насадочные блоки аппаратов испарительного охлаждения, широко применяемые в промышленных отраслях [1—3], но и насадочные материалы на основе отходов металлообработки и полимерных материалов различных производств [24—31]. Применяя предлагаемые научные классифицирующие методики, можно дать заключение о пригодности исследуемых насадочных материалов (на основе отходов металлообработки и полимерных материалов) в качестве насадочных блоков массообменных аппаратов, что может дать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект. Для примера рассмотрим классификацию насадочного материала S-VT5_{ε-0,85} (рис. 1) при помощи разработанных авторами методик, а также результаты моделирования и расчета аппарата испарительного охлаждения оборотной воды с насадочным блоком на его основе.

Насадочный материал S-VT5_{ε-0,85} — металлическая стружка, отходы металлообработки марки стали VT5, получен в ходе механической обработки цилиндров высокого давления фильтрационных установок, а также в производстве установок для создания рекомбинированной пробы нефти, газа, газоконденсата. Данный титановый сплав обладает высокой коррозионной стойкостью, в аббревиатуре S — shavings, ε — свободный объем (порозность) насадочного материала.



Рис. 1. Экспериментальный модуль с исследуемым насадочным материалом S-VT5_{ε-0,85}

Интерес к предоставленному на испытания насадочному материалу был вызван несколькими причинами: высокая химическая и термическая стойкость, стабильность структуры витков стружки, большой объем предоставленного материала, малый удельный вес скомпонованных блоков насадочного материала и др.

Базовой классифицирующей методикой, способной распознать насадочные материалы, соответствующие требованиям определенным тепло- и массообменным процессам и аппаратам, является зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от модифицированного числа Рейнольдса [32—35]:

$$\lambda = f(Re_m). \quad (1)$$

Данная методика позволяет обработать экспериментальные данные в области гидрогазодинамики и обобщить их при помощи модифицированной критериальной зависимости $\lambda = f(Re_m)$. Она ориентирована на классифицирующий анализ фильтрационных кривых течений через различные среды и, применимо к процессу испарительного охлаждения оборотной воды, позволяет классифицировать и распознать фильтрационные течения с пренебрежимо малыми вязкостными составляющими структур течений и развитыми инерционными, что в свою очередь сопровождается интенсивным вихреобразованием газовой фазы в насадочных блоках и интенсивным омытием теплообменных поверхностей каплей и пленок жидкости потоком сплошной газовой фазы.

Согласно данной методике насадочные материалы, соответствующие требованиям процесса испарительного охлаждения, займут определенный режимный диапазон зависимости $\lambda = f(Re_m)$, представленной графически на рис. 2.

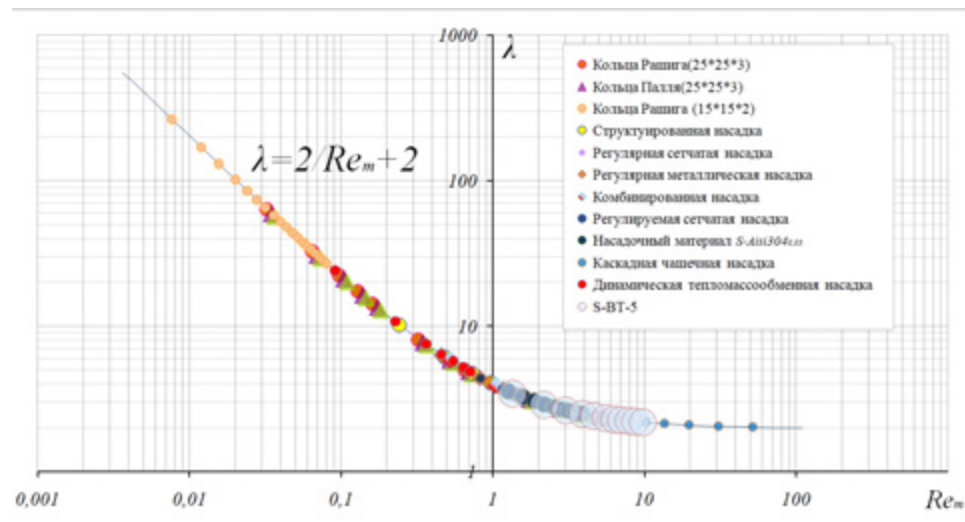


Рис. 2. Классифицирующая критериальная зависимость $\lambda = f(Re_m)$ для обработки экспериментальных данных фильтрационных течений через насадочные блоки теплообменных аппаратов [32—35].

Результаты обработки данных классифицирующей зависимости $\lambda = f(\text{Re}_m)$ при анализе фильтрационных кривых приведены в таблице.

Эта методика позволяет засвидетельствовать стабильные режимы газораспределения в насадочных блоках и исключить применение насадочных материалов, формирующих каналы беспрепятственного проскока газовой фазы через насадочный блок, что негативно сказывается на протекающих тепло- и массообменных процессах. Рассмотрим экспериментальные данные полученных профилей скорости воздушного потока в сечениях насадочного блока S-BT5 $_{\varepsilon=0,85}$, приведенные на рис. 3.

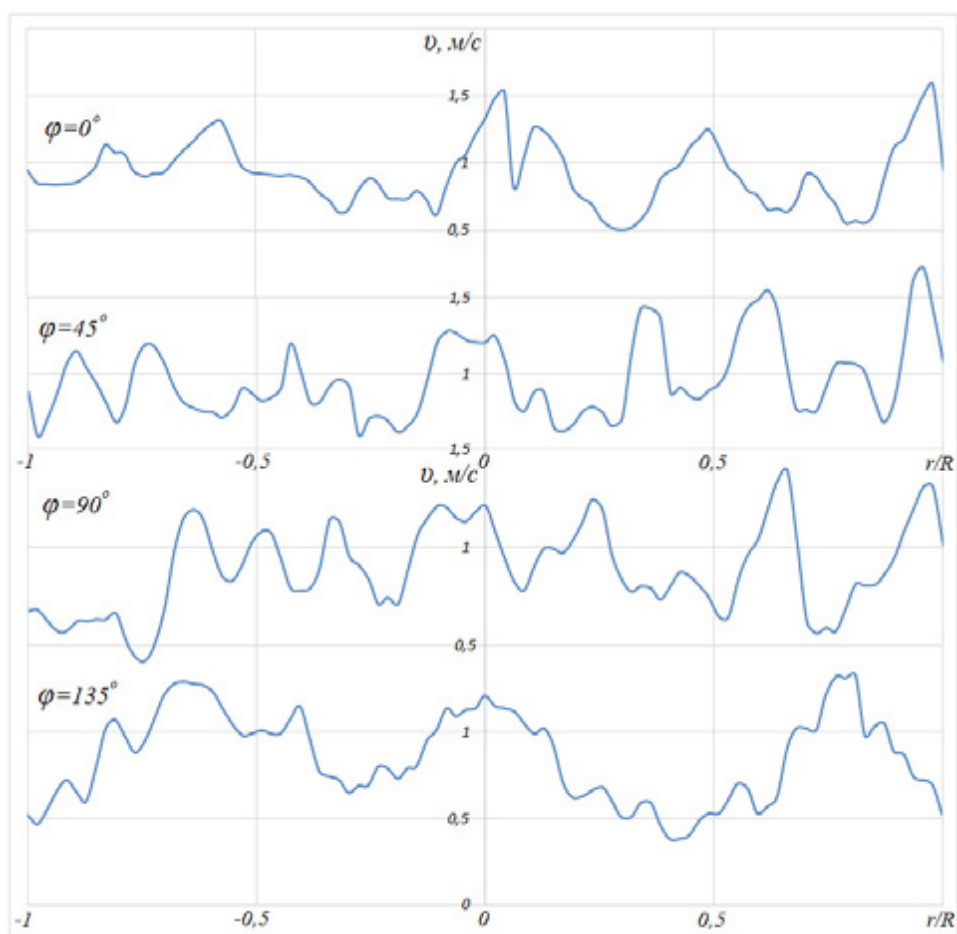


Рис. 3. Экспериментальные данные полей скоростей воздушного потока на выходе из насадочного блока S-BT5 $_{\varepsilon=0,85}$.

Дисперсия, или центральный момент второго порядка, для обработки экспериментальных данных профиля скорости газовой фазы через насадочный блок определяется в виде [34]:

$$\sigma^2 = \frac{2v_{cp}\Delta r}{R^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i}{v_i} \right) - 1, \quad (2)$$

где v_i и v_{cp} — соответственно скорость потока на текущем радиусе r и средняя скорость, м/с; r и R — соответственно радиус линии тока внутри объекта и радиус насадочного блока (массообменного аппарата), м.

Рассчитав дисперсию, получаем возможность определить число Пекле продольной диффузии Pe_l и классифицировать структуру потока по газовой фазе через насадочный блок:

$$\sigma^2 = \frac{2}{Pe_l} + \frac{3}{Pe_l^2}, \quad (3)$$

где Pe_l — критерий Пекле продольной диффузии по газовой фазе для полукрытого сосуда.

Результаты обработки экспериментальных данных полей скоростей потока газовой фазы через исследуемый насадочный блок приведены в таблице.

После проведения классифицирующих методик в области гидрогазодинамики, убедившись в работоспособности исследуемых насадочных материалов в качестве контактных блоков массообменных аппаратов, в частности тепло-массообменных аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды, следует провести исследования тепло-массообменных (теплофизических) характеристик исследуемых насадочных блоков. На основе полученных данных по интенсивности протекающих в контактных блоках тепло- и массообменных процессов, коэффициентов тепло- и массоотдачи, а также данных о среднем времени пребывания охлаждаемой оборотной воды в аппарате можно проводить моделирование и расчет основных геометрических характеристик аппаратов испарительного охлаждения, обеспечивающих требуемую производительность и глубину охлаждения промышленной оборотной воды согласно методикам, приведенным в работах [35—37]. Основные технологические и геометрические параметры аппарата испарительного охлаждения с использованием насадочных блоков на базе S-BT5_{ε-0,85} приведены в таблице. Пространственная схема рассчитанного тепло-массообменного аппарата испарительного охлаждения представлена на рис. 4.

Исходные, справочные данные, основные расчетные технологические и геометрические параметры аппарата испарительного охлаждения промышленной оборотной воды с насадочными тепло-массообменными блоками на основе материала S-BT5_{ε-0,85}

	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
Исходные данные				
1	Производительность по охлаждаемой воде	м ³ /ч	q	80
2	Начальная температура воды	°С	$t_{вн}$	42
3	Конечная температура воды	°С	$t_{вк}$	23
4	Начальная температура воздуха	°С	$t_{вн}$	20
5	Конечная температура воздуха	°С	$t_{вк}$	34
6	Относительная влажность воздуха на входе	—	φ_n	0,7
Справочные данные				
1	Средняя теплоемкость воды	кДж/кг·К	c_w	4,18

1	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
2	3	4	5	
2	Средняя плотность воды	кг/м ³	ρ_w	992
3	Удельная теплота парообразования при 0 °С	кДж/кг	$r_{п}$	2493
4	Теплоемкость пара	кДж/кг·К	$c_{п}$	1,97
5	Теплоемкость сухого воздуха	кДж/кг·К	$c_{в}$	1,01
6	Давление насыщенных паров при начальной температуре воздуха	кПа	p_n^*	2,3388
7	Давление насыщенных паров при конечной температуре воздуха	кПа	p_k^*	5,322
8	Удельная производительность по воде	кг·W/ м ² ·с	$G_{вн}$	1,6
9	Удельная производительность по воздуху	кг·B/ м ² ·с	$G_{вн}$	1,5
10	Коэффициент теплопередачи (экспериментальные данные)	Вт/м ² ·К	K_t	159
11	Коэффициент массопередачи (экспериментальные данные)	кг·W/ м ² ·с·× ×·(кгW/кгB)	K_m	0,041
Расчетные значения классифицирующей критериальной зависимости $\lambda = f(Re_m)$				
1	Первый характерный линейный размер для дискретной модели фильтрации	м	l_{x1}	$2,976 \cdot 10^{-3}$
2	Второй характерный линейный размер для дискретной модели фильтрации	м ²	l_{x2}	$10,98 \cdot 10^{-5}$
3	Вязкостный коэффициент сопротивления насадочного блока, характеризующий его структуру с учетом сил вязкого трения	м ⁻²	α	$3,057 \cdot 10^6$
4	Инерционный коэффициент сопротивления насадочного блока, характеризующий его структуру с учетом сил инерции потока	м ⁻¹	β	336,04
5	Модифицированное число Рейнольдса	—	Re_m	3,0257
				3,9184
				4,5978
				5,5458
				6,3595
				7,031
				7,8447
6	Коэффициент гидравлического сопротивления	—	λ	8,6584
				9,7328
				2,661004
				2,510412
				2,434991
				2,360633
				2,31449
				2,284455
2,254949				
2,23099				
2,205491				
Расчетные значения классифицирующей методики определения параметров структуры потока безиндикаторным методом по профилю скорости				
1	Диапазон радиальных дисперсий при анализе структуры потока по профилю скорости	—	σ^2	0,08...0,13

	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
2	Диапазон чисел Пекле продольной диффузии при обработке радиальных данных	—	Pe_l	16,79...26,45
3	Диапазон диаметральных дисперсий при анализе структуры потока по профилю скорости	—	σ^2	0,048...0,062
4	Диапазон чисел Пекле продольной диффузии при обработке диаметральных данных	—	Pe_l	33,49...43,40
5	Дисперсия при обработке данных потока по концентрическому окружному шагу	—	σ^2	0,007
6	Число Пекле продольной диффузии при обработке данных по концентрическому окружному шагу	—	Pe_l	282,28
Расчетные параметры				
1	Начальное влагосодержание воздуха	кг·W/кгВ	x_n	$1,059 \cdot 10^{-2}$
2	Начальная энтальпия воздуха	кДж/кгВ	i_n	47,03
3	Конечное влагосодержание воздуха	кг·W/кгВ	x_k	$3,487 \cdot 10^{-2}$
4	Конечная энтальпия воздуха	кДж/кгВ	i_k	123,62
5	Удельная производительность по воде на выходе из аппарата	кг·W/м ² ·с	G_{wk}	1,562
6	Удельное количество испаряемой воды в воздух	кг·W/м ² ·с	W	$3,749 \cdot 10^{-2}$
7	Средняя развиваемая поверхность потока жидкости	м ² /м ² ·с	F_{kc}	3,002
8	Скорость воздуха	м/с	v_v	1,107
9	Диаметр аппарата	м	D_a	4,2
	Ширина грани аппарата испарительного охлаждения (в прямоугольном исполнении)	м	$l_{гр}$	3,7
0	Площадь поперечного сечения аппарата	м ²	S_a	13,84
11	Средняя теплоемкость влажного воздуха	кДж/кг·К	$c_{вс}$	1,054
12	Средняя движущая сила процесса теплопередачи	°С	Δt_c	6,382
13	Число единиц переноса по влагосодержанию паров в воздухе	—	ЧЕП _x	2,224
14	Средняя движущая сила массообменного процесса испарения воды в воздух	кг·W/кгВ	Δx_c	$1,123 \cdot 10^{-2}$
15	Необходимая расчетная поверхность капель и пленок, обеспечивающая процессы тепло- и массопередачи	м ²	F_p	4513,7
16	Среднее время пребывания охлаждаемой оборотной воды в аппарате	с	$\tau_{гр}$	34,74
17	Высота насадочного блока аппарата испарительного охлаждения	м	H_n	1,737

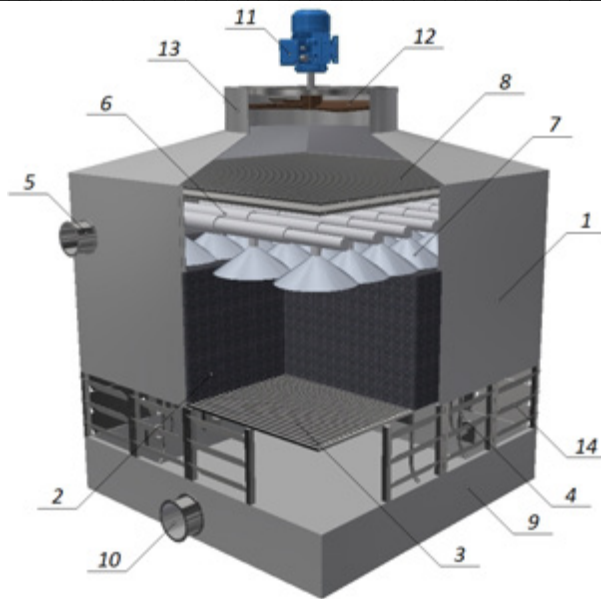


Рис. 4. Аппарат испарительного охлаждения промышленной оборотной воды с насадочными теплообменными блоками на основе исследуемого материала S-BT5_{ε-0,85}: 1 — корпус аппарата; 2 — теплообменный насадочный блок испарительного охлаждения; 3 — опорная решетка насадочного блока; 4 — опорные кронштейны насадочного блока; 5 — входной патрубок системы орошения (водораспределения); 6 — система орошения насадочного блока; 7 — факелы распыла; 8 — каплеотбойники (каплеуловитель); 9 — водосборный коллектор; 10 — патрубок системы водоотведения в оборотный цикл; 11 — электродвигатель вентилятора; 12 — лопасти вентилятора; 13 — кожух вентилятора; 14 — воздухоходные окна

Заключение

Результаты обработки экспериментальных данных при помощи классифицирующих методик $\lambda = f(Re_m)$ и определения параметров структуры потока безиндикаторным методом по профилю скорости свидетельствуют о высокой проницаемости изучаемого насадочного блока с развитыми инерционными составляющими структур фильтрационных течений и стабильными профилями скорости, что обеспечивает равномерное распределение потока газовой фазы в аппарате по времени пребывания. Диапазон радиальных дисперсий σ^2 составил 0,080...0,130 (число Пекле продольной диффузии $Pe_l = 16,79...26,45$), диаметральных дисперсий 0,048...0,062 ($Pe_l = 33,49...43,40$), а дисперсия профилей по концентрическому окружному шагу составила 0,007, что свидетельствует о сравнительно стабильных полях фильтрационных течений и близости структуры потока по газовой фазе к режиму идеального вытеснения.

Согласно классифицирующей методике зависимости $\lambda = f(Re_m)$ насадочный материал S-BT5_{ε-0,85} занял диапазон 2,2...2,7 по коэффициенту гидравлического сопротивления λ и 3...9,8 по модифицированному критерию Рейнольдса Re_m , что полностью соответствует насадочным устройствам, ориентированным на процесс испарительного охлаждения оборотной воды [27], и при определенной компоновке насадочных блоков и режимах орошения также может найти применение в малогабаритных абсорбционных аппаратах селективной очистки газовых выбросов [25, 26].

Представленные в работе классифицирующие методики способны распознавать различного рода насадочные материалы в качестве потенциально применимых для широкого спектра промышленных тепло- и массообменных процессов и аппаратов.

Экспериментально определены коэффициенты тепло- и массоотдачи для насадочного материала S-BT5_{ε=0,85} на базе отходов металлообработки $K_t = 159 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, $K_m = 0,041 \text{ кг}\cdot\text{W/м}^2\cdot\text{с}\cdot(\text{кг}\cdot\text{W/кг}\cdot\text{В})$. По интенсивности протекающих тепло- и массообменных процессов исследуемый насадочный материал уступает заявленным характеристикам ряда насадочных промышленных контактных устройств, что требует увеличения высоты насадочного блока. Однако с учетом высокой проницаемости насадочного материала это обстоятельство не приведет к существенному росту энергетических затрат на осуществление процесса, кроме того, исследуемый насадочный материал способен работать в условиях естественной тяги. С учетом теплофизических характеристик высота насадочного блока H_n моделируемого теплообменного аппарата составила 1,737 м.

Таким образом, насадочные материалы на основе отходов металлообработки или полимерных материалов различных производств и отраслей промышленности могут быть классифицированы при помощи разработанных методик обработки экспериментальных данных в области гидрогазодинамики. После экспериментального определения теплофизических характеристик эти насадочные блоки могут быть использованы в аппаратах испарительного охлаждения, рассчитанных на различные удельные производительности и глубины охлаждения промышленной оборотной воды. При этом можно придать определенные поверхностные свойства насадочным элементам (гидрофильность) для соответствия требованиям тепло- и массообменных процессов и развития поверхности контакта продуктов массообмена. Данное направление использования в качестве контактных блоков скомпонованных отходов металлообработки и полимерных материалов способно дать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаптев А. Г., Вадьяева И. А. Устройство и расчет промышленных градирен : монография. Казань : КГЭУ, 2004. 358 с.
2. Сокол Б. А., Чернышев А. К., Баранов Д. А. Насадки массообменных колонн / под ред. Д. А. Баранова. М. : Инфохим, 2009. 358 с.
3. Каган А. М., Лаптев А. Г., Пушинов А. С., Фарахов М. И. Контактные насадки промышленных теплообменников / под ред. А. Г. Лаптева. Казань : Отечество, 2013. 454 с.
4. Лаптев А. Г., Фарахов М. И., Лаптева Е. А. Сравнительные гидравлические и тепло-массообменные характеристики пленочных регулярных насадок в градирнях // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 18. С. 71—74.
5. Дмитриев А. В., Круглов Л. В., Мадышев И. Н., Дмитриева О. С. Охлаждение оборотной воды предприятий энергетики в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами // Промышленная энергетика. 2018. № 11. С. 45—49.
6. Dmitriev A. V., Madyshev I. N., Khafizova A. I., Nikolaev A. N. Hydrodynamics in counterflow cooling tower with corrugated inclined contact elements // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1745. P. 012078.
7. Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Мадышев И. Н. Определение объемного коэффициента массоотдачи в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами // Инженерно-физический журнал. 2021. Т. 94. № 1. С. 121—126.
8. Experimental investigation of fill pack impact on thermal-hydraulic performance of evaporative cooling tower / A. V. Dmitriev, V. E. Zinurov, I. N. Madyshev, V. V. Kharkov, O. S. Dmitrieva // Thermal Science and Engineering Progress. 2021. Vol. 22. P. 100835.

9. *Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N.* Determination of the Volumetric Coefficient of Mass Transfer in Cooling Towers with Jet-Film Contact Devices // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2021. Vol. 94. No. 1. Pp. 113—117.
10. Оценка интенсивности развития турбулизации в теплообменниках 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 // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 245—254.
11. *Мадьшев И. Н., Харьков В. В., Николаев А. Н.* Интенсификация теплообменных процессов в испарительных градирнях: монография. Казань : КНИТУ, 2022. 92 с.
12. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Круглов Л. В., Чичирова Н. Д.* Оценка эффективности процессов тепло- и массообмена в трехпоточной испарительной градирне с наклонно-гофрированными контактными элементами // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2020. Т. 12. № 4(48). С. 126—135.
13. *Мадьшев И. Н., Хафизова А. И.* Определение гидравлического сопротивления наклонно-гофрированных элементов блока оросителя градирни // *Энергетические системы*. 2019. № 1. С. 61—66.
14. *Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Madyshev I. N., Nikolaev A. N.* Flow dynamics of mass exchangers with jet-bubbling contact devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. No. (1-2). Pp. 130—134
15. *Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Мадьшев И. Н.* Определение коэффициента массоотдачи в жидкой фазе в струйно-барботажном контактном устройстве // *Теплоэнергетика*. 2016. № 9. С. 76—80.
16. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С.* Экспериментальное исследование гидравлических и теплообменных показателей наклонно-гофрированных контактных элементов оросителя градирни // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 1. С. 4—8.
17. *Дмитриев А. В., Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С.* Определение эффективности охлаждения оборотной воды в струйно-барботажных контактных элементах // *Экология и промышленность России*. 2016. Т. 20. № 6. С. 4—7.
18. *Мадьшев И. Н., Дмитриева О. С., Дмитриев А. В.* Перспективы использования струйно-барботажных контактных устройств для повышения энергоэффективности теплообменных аппаратов // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. № 7. С. 36—39.
19. *Дмитриев А. В., Мадьшев 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.
20. *Дмитриева О. С., Дмитриев А. В., Николаев А. Н.* Вихревая камера с дисковым распылителем для охлаждения оборотной воды промышленных предприятий // *Экология и промышленность России*. 2013. № 6. С. 16—18.
21. *Дмитриев А. В., Дмитриева О. С., Николаев А. Н.* Особенности охлаждения оборотной воды в вихревых камерах в зимний период // *Экология и промышленность России*. 2012. № 9. С. 12—13.
22. Регулярная блочная сетчатая насадка для локальных систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, И. А. Хижняков, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 80—87.
23. *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.
24. *Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Лебедев В. Н., Персидский А. В.* Перспективный насадочный материал для контактных устройств испарительного охлаждения оборотной воды // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2021. № 5. С. 33—36.
25. *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.
26. 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 // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 182—195.

27. Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Lebedev V. N., Persidskiy A. V. Promising packing material for recycled water evaporative cooling contact devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2021. Vol. 57. No. 5—6. Pp. 416—422.
28. Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Gendler A., Lebedev V. N. Modelling and calculation of a small-size evaporation cooling apparatus for industrial recirculated water with a heat-and-mass exchange packing based on wastes from metal-working machinery // *E3S Web of Conferences*. «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020». 2020. P. 02003.
29. Автоматическое управление режимами работы аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, А. С. Шилихин, А. Б. Голованчиков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 4(77). С. 124—135.
30. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Топилин М. В. Моделирование процессов управления в нефтегазоперерабатывающем массообменном оборудовании: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2021. 212 с.
31. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Лебедев В. Н. Моделирование процессов управления в экологическом массообменном оборудовании: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. 188 с.
32. Голованчиков А. Б., Балашов В. А., Меренцов Н. А. Уравнение фильтрации для насадочных контактных устройств // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2017. № 1. С. 8—10.
33. 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.
34. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Прохоренко Н. А. Определение параметров структуры потоков пара и кипящего раствора в ректификационной колонне // *Вестник Тамбовского государственного технического университета (Вестник ТГТУ)*. 2022. Т. 28. № 1. С. 85—93.
35. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Моделирование тепломассообменных насадочных устройств с развитым капельным режимом течения: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2019. 140 с.
36. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляционной градирни с капельным орошением // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28(47). С. 171—178.
37. Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Balashov V. A. Modeling and analysis of a mechanical-draft cooling tower with wire packing and drip irrigation // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48. No. 9-10. Pp. 595—601.

© Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Лебедев В. Н., Тезиков Д. А.,
Грошев В. В., Ускова Д. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Энерго- и ресурсосберегающие насадочные контактные устройства для аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. Н. Лебедев, Д. А. Тезиков, В. В. Грошев, Д. А. Ускова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 168—179.

Об авторах:

Меренцов Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; steep@mail.ru, pahp@vstu.ru

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; pahp@vstu.ru

Лебедев Виталий Николаевич — инженер, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг Волгоград-НИПИморнефть». Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 96; oilproject@lukoilvmn.ru

Тезиков Дмитрий Александрович — старший преподаватель каф. физической подготовки, Волгоградская академия МВД России. Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Историческая, 130; volakdm@va-mvd

Грошев Вячеслав Викторович — старший преподаватель каф. физвоспитания, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Ускова Дарья Алексеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

**Nikolai A. Merentsov^a, Aleksandr B. Golovanchikov^a, Vitalii N. Lebedev^b,
Dmitry A. Tezikov^c, Vyacheslav V. Groshev^a, Daria A. Uskova^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft*

^c *Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia*

ENERGY- AND RESOURCE SAVING PACKED CONTACT DEVICES FOR EVAPORATIVE COOLING APPARATUS OF INDUSTRIAL CIRCULATING WATER SUPPLY SYSTEM

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-exchange environmental and oil and gas processing equipment"

The paper considers the promising of using energy and resource-saving packing materials based on metal processing wastes or polymer wastes in the form of assembled contact blocks of evaporative cooling devices of industrial cooling water. Classification methods of experimental data processing in the field of hydro- and gas dynamics are presented, which allow to give a conclusion on suitability of the analysed packing materials as contact blocks of heat and mass exchange devices of various industrial purposes. The results of mathematical modeling and calculation of the main technological and geometric parameters of the evaporative cooling apparatus of industrial cooling water with classified packing material S-VT5_{ε-0,85} are given.

Key words: energy and resource saving, hydrodynamics, gas dynamics, heat and mass transfer, packing material, contact unit, evaporative cooling, cooling water, cooling towers, water supply systems.

For citation:

Merentsov N. A., Golovanchikov A. B., Lebedev V. N., Tezikov D. A., Groshev V. V., Uskova D. A. [Energy and resource saving packed contact devices for evaporative cooling apparatus of industrial circulating water supply system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 168—179.

About authors:

Nikolai A. Merentsov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; steeples@mail.ru, pahp@vstu.ru

Aleksandr B. Golovanchikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; pahp@vstu.ru

Vitalii N. Lebedev — Engineer, branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft. 96, Lenina Ave., Volgograd, Russian Federation; oilproject@lukoilvmn.ru

Dmitry A. Tezikov — Senior Lecturer, Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 130, Istoricheskaya st., Volgograd, 400075, Russian Federation; volakdm@va-mvd

Vyacheslav V. Groshev — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Daria A. Uskova — Master' Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

УДК 712(470.45)

Н. В. Иванова, О. А. Ганжа

Волгоградский государственный технический университет

**АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ОБЪЕКТОВ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА ТЕРРИТОРИИ ОСТРОВА ГОЛОДНЫЙ ВОЛГОГРАДА**

Приведены результаты исследования территорий речных островов в границах крупных городов и оценены возможности строительства на них архитектурно-ландшафтных рекреационных объектов. Проанализирован современный зарубежный и отечественный опыт проектирования туристско-рекреационной инфраструктуры. Определен комплекс факторов, влияющих на сохранение природного потенциала Волго-Ахтубинской поймы, на примере острова Голодный. Представлено экспериментальное проектирование объектов рекреаций на территории острова.

Ключевые слова: Волгоград, речные острова, объекты рекреации, туристско-рекреационное проектирование.

В России наблюдается устойчивый интерес к архитектурно-экологическим проблемам освоения территорий речных островов, входящих в состав крупных городов (Крестовский, Петровский в Санкт-Петербурге, Русский — во Владивостоке и др.). В настоящее время изучаются возможности архитектурно-ландшафтного развития островов Волго-Ахтубинской поймы в Волгограде (Голодный, Сарпинский, Денежный и др.), рассматриваются концепции благоустройства рекреационных пространств и их потенциал как островов-парков, способных стать привлекательными объектами ландшафтного искусства и туризма с минимальным строительством нового жилья. Предполагается, что создание туристического кластера позволит увеличить поток отдыхающих жителей и гостей города и положительно повлияет на социально-экономическое состояние ведущих отраслей региональной экономики (технологии строительства и материалы, дорожно-транспортная сеть, связь, сельское хозяйство и др.). Развитие внутреннего и въездного туризма в Волгоградской области с 2020 г. получило поддержку на федеральном уровне.

Актуальны разработка основных экологических подходов к определению вариантных участков строительства и составление основных архитектурных, ландшафтно-экологических направлений в проектировании объектов рекреаций и их современном благоустройстве на территории о. Голодный в Волгограде.

Цель исследования — изучение типологических, архитектурно-ландшафтных основ проектирования объектов туризма и выявление территорий проектирования на землях речного острова в границах города.

Разработка и расширение архитектурных особенностей рекреационных объектов опираются на изучение российского и зарубежного опыта проектирования и строительства. Важным аспектом является изучение социально-исторического процесса формирования острова и ландшафтно-экологических факторов, влияющих на организацию рекреационно-туристического кластера на территории о. Голодный. В работе предложено экспериментальное проектирование новых объектов рекреации в обустройстве территории острова.

Изученность темы

Изучены научные публикации, посвященные климатическим, гидрологическим и экологическим переменным, действующим на круговорот речной воды в городских районах бассейна реки, развитию системы речных островов и перспективным мероприятиям по крупномасштабному сохранению и восстановлению ландшафта города [1—3]. Авторы отмечают, что основное исследование (составление типов и классификаций) речных островов началось в конце XX в. Острова рассматриваются как часть поймы, ограниченная рукавами или протоками реки, устойчивая и закрепленная растительностью [4, 5]. Острова являются важными морфологическими объектами с разносторонним характером влияния на речную гидрологическую и гидравлическую динамику, структуру русла и поймы, речную экологию [6].

Важным становится антропогенное использование речных систем с островами, в т. ч. разработка политики в отношении землепользования и освоения ресурсов острова, основанной на всестороннем определении характера пространственных и природных характеристик ландшафта [7].

Значительную роль в формировании комфортности жизни жителей города авторы отводят озеленению пригородных зон [8]. Зеленые насаждения выполняют санитарно-гигиенические функции, среди которых смягчение климата, благотворное действие на эмоциональное и физическое состояние человека, повышение физических и умственных способностей [8, 9].

Но ландшафтное планирование использования речных островов, по мнению исследователей, должно учитывать оценки уязвимости территорий к туризму [10].

История формирования о. Голодный

Существует несколько версий происхождения названия о. Голодный. Первая связана с тем, что ранее он представлял голую песчаную отмель, спустя десятилетия заросли ивняка и прочей растительности покрыли ее территорию. Сейчас на острове есть несколько озер, различные кустарники и деревья, большое количество птиц и другой фауны.

Другая легенда основана на высказывании рыбаков, ловивших рыбу по берегам острова. Не найдя дубовой коры для дубления сетей, они якобы говорили: «Насчет дуба (дубленых сетей) у нас голодно».

История Волгограда начиналась с казачьего острога XVI в. [11]. По описанию, он находился напротив устья реки Царицы, что соответствует локации о. Голодный. Принято считать, что первая Царицынская крепость, основанная князем Григорием Засекиным в 1589 г., располагалась на о. Голодном, и источники XVI—XVII вв. это подтверждают. Но после весеннего паводка остров почти полностью ушел под воду, все постройки перенесли на правую сторону Волги, где основали г. Царицын, впоследствии Сталинград — Волгоград.

Во время Второй мировой войны на острове располагались части, участвовавшие в обороне Сталинграда.

Сейчас остров Голодный относится к Кировскому району Волгограда. Он составляет островную систему с о. Сарпинский с особо охраняемыми природными территориями. Территории двух речных островов, Сарпинского и Голодного, внесены в список ЮНЕСКО как уникальные природоохранные зоны [12].

Остров Голодный стал одним из центров «дикого» отдыха, на него можно попасть только водным транспортом (лодка, катер, теплоход). После

окончания половодья Волги сюда приезжает много отдыхающих, устраивающих палаточные лагеря¹.

В 1975 г. на Голодном заработала очистная станция, практически спасшая Волгоград от постоянных вспышек холеры и других кишечных заболеваний из-за сточных воды, выпускавшихся в Волгу около города.

В 2000-х гг. запланировано строительство малой ГЭС для резервного питания очистных сооружений [13].

В 2018 г. разработан план по строительству подводного перехода для усиления мощностей очистной станции.

Климатические и природные особенности потенциала территории о. Голодный

Остров Голодный находится в границах Волгограда, его природный потенциал оказывает смягчающее действие на сложные климатические условия региона. По обилию тепла и света Волгоград стоит в одном ряду с субтропическими городами. Солнце закрыто облаками не более 80 дней в году. Анализ температурно-влажностного состояния городской среды показывает, что летом на улицах температура воздуха держится от +35 до +45 °С, т. е. на 75 % выше оптимальной температуры, необходимой для развития растений; относительная влажность снижается до 8...11 % (для средней полосы это значение составляет 50...80 %). Асфальтовые покрытия нагреваются до +60 °С и выше, а температура земли на глубине 15 см в жаркий день превышает +30 °С. В Волгограде стабильно в летне-весенний сезон наблюдаются суховеи и пыльные бури (50...55 дней) со скоростью ветра 14 м/с (комфортные условия обеспечиваются при 2...6 м/с). Кроме горячих потоков воздуха ветер переносит песок и «пыль покрытий», загрязняющие городские пространства и резко ограничивающие видимость.

Таким образом, для улучшения климатических условий города необходимо сохранение и развитие природных участков речных островов Волго-Ахтубинской поймы [14]. На территории о. Сарпинский расположены многочисленные водоемы, озера, ерики, старицы, протоки, которые создают особые микроклиматические условия. Широко распространены пойменные луга, где произрастают разнообразные виды растений, включая редкие и исчезающие. Здесь встречаются около 300 видов позвоночных животных, более 50 видов растений и животных являются особо охраняемыми.

Ландшафтная оценка о. Голодный

Ландшафты южной части о. Голодный серьезно изменены промышленным строительством. Здесь находятся очистные сооружения, принимающие фекально-хозяйственные стоки 6 из 8 административных районов Волгограда. На острове есть дачный массив, жить в котором невозможно из-за отсутствия безопасных источников водоснабжения. Для пляжного отдыха и рыбалки есть песчаные косы на стороне, обращенной к левобережью Волги [14].

На современном этапе все природные компоненты Сарпинской пойменно-островной системы тесно связаны с режимом затопления (рис. 1). В последние десятилетия питание озер и ериков, динамика растительных сообществ главным образом зависят от режима Волжской ГЭС.

¹ Об утверждении Правил землепользования и застройки городского округа город-герой Волгоград (с изм. и доп.). Решение от 21.12.2018 N 5/115. URL: docs.cntd.ru/document/550310011.



Рис. 1. Границы затопления о. Голодный. Синим цветом выделена граница зоны затопления, красным цветом — граница кадастрового квартала

Значение о. Голодный для экологической защиты озеленения территории города

В настоящее время актуальны вопросы общения человека с природными элементами в дни отдыха и периода отпусков. Развивается экотуризм, главной целью которого становится восстановление физических и духовных сил в условиях сохранения экологии и развития региональных особенностей окружающей природной среды [15]. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» преследует цель реализации прав граждан на благоприятную окружающую среду. Сохранение природной составляющей о. Голодный способствует исполнению этой задачи. Есть возможность использовать острова как рекреационную систему отдыха. Согласно закону, на территории «зеленого окружения города» могут располагаться объекты, связанные с занятием спортом, здравоохранением и туризмом, и объекты экологического отдыха и туризма.

Анализ международного и отечественного опыта

Курортный отель Six Senses Fij

Возвышенный остров Малоло — это тропическое место для Six Senses Fij resort, всего в 16 милях (25 км) от международного аэропорта Нади (NAN). Курортный отель Fij окружен кристально чистой водой и белоснежными песчаными пляжами (рис. 2).

Гости размещаются в 24 просторных виллах, резиденциях с бассейнами, с видом на залив в западном направлении. Проектом предусмотрено 100 % использование солнечной энергии.

Виллы располагают частными бассейнами, террасами и душевыми кабинками или ваннами на открытом воздухе. Из половины номеров открывается прямой вид на пляж и выход к океану.



Рис. 2. Расположение объектов на острове Малоло

Отель Banyan Tree MayaKoba в Плайя-дель-Кармен

К услугам гостей отеля Banyan Tree MayaKoba комфортабельные виллы с частным бассейном и люксы, дизайн которых гармонирует с окружающей природой. Частные виллы и люксы предлагают комфортабельные пространства с большими террасами и бассейнами большого и среднего размера.

Туристическая база Lago Ladoga на о. Хавус (рис. 3)



Рис. 3. Общий вид туристической базы

Всего на территории 10 геокуполов, каждый рассчитан на 2—3 человек, (см. рис. 3). Внутри куполов две удобные нижние кровати или одна большая для пар и дополнительное спальное место наверху, прикроватный столик, два кресла и журнальный стол у панорамного окна с видом на лес и озеро.

Имеется 2 бани-фурако (деревянные открытые купели) прямо на берегу озера с печкой для подогрева воды.

База отдыха «Черные Камни», Карелия

База отдыха «Черные Камни» расположена на берегу одного из самых загадочных и красивых озер Карелии — Янисъярви (рис. 4). Появление озера произошло благодаря падению метеорита. Побывавшие в этих краях чувствуют необычную силу притяжения озера.



Рис. 4. Расположение туристической базы

На базе «Черные Камни» создано все для круглогодичного отдыха: можно посетить достопримечательности Карелии, отправиться на рыбалку или водную прогулку, отдохнуть на пляже на берегу озера, прокатиться на квадроцикле, принять участие в охоте с профессиональными егерями. Для приверженцев здорового образа жизни на территории базы работает спорткомплекс с бассейном и джакузи, есть русская баня.

Природно-территориальные условия размещения объектов рекреации

Территория как пространственное образование является основным природным ресурсом, обеспечивающим жизнедеятельность городского населения. Для принятия градостроительных решений необходимо получение объективной информации о территории, на которой предстоит реализация проектных решений.

Основными критериями выступают специально разработанные характеристики и параметры природных и санитарно-гигиенических условий территории, позволяющие оценить степень ее пригодности для различных видов использования. Общим оценочным показателем территории строительства является степень благоприятности среды для градостроительного освоения. Степень благоприятности подразделяется на благоприятную, неблагоприятную и особо неблагоприятную. В формировании и развитии рекреационных зон следует провести оценку рекреационных ресурсов: климатических условий, водных объектов (акватории), пляжей, естественных или культурных ландшафтов, уникальных природных объектов и явлений.

Методика оценки рекреационных ресурсов [16] предусматривает проведение анализа соответствия условий и свойств природной среды технологическим требованиям основных форм рекреации. Оценка рекреационных

ресурсов проводится дифференцировано по степени благоприятности для размещения и развития различных видов туризма и отдыха. Оценка проводится по экологическим факторам и санитарно-гигиеническим условиям (рис. 5).



Рис. 5. Схема проведения оценки экологических факторов и санитарно-гигиенических условий

На основе проведенной оценки определяется соответствие ресурсного потенциала территории расчетным потребностям рассматриваемой урбанизированной территории [16—18]. В освоении территорий для рекреационных целей следует провести оценку антропогенных, санитарно-гигиенических и инженерно-строительных условий для выявления планировочных ограничений, установления границ, приемлемых для освоения.

Перечень факторов и условий, используемых в проведении оценки пригодности территории, приведен в таблице.

Факторы и условия, используемые в оценке пригодности территории для рекреационных целей

Наименование	Содержание
Антропогенные условия	Плотность перспективного населения, чел/км ²
	Распаханность территорий, %
	Нарушенность территорий, м ²
Дорожно-транспортная сеть (коммуникационные связи)	Наличие и связь посредством водного транспорта (сезонная)
Санитарно-гигиенические условия	Местонахождения территории за пределами зон влияния источников шума и загрязнения воздуха, почв, поверхностных и подземных вод и растительности
Инженерно-строительные условия	Природные и санитарные факторы: рельеф, грунты, гидрогеологические условия, затопляемость, заболоченность, наличие оврагов, оползни, размыв берегов водотоков, почва, направление ветров и инсоляция

На этапе выявления проблем в процессе принятия решения по освоению территории необходимо разработать схему функционального зонирования рекреационной территории с точки зрения режима ее использования и определиться с формами рекреационного природопользования [19].

Экспериментальное проектирование рекреационных объектов на территории о. Голодный Волгограда

В Волгограде сотрудники центра урбанизма «ВЯЗ» разрабатывают концепции благоустройства особо охраняемой природной территории — островов Сарпинский и Голодный. Главная цель работы — сохранить природную среду и весь зеленый массив, наполняющий о. Голодный, территория которого включена в список ЮНЕСКО и является природоохранной зоной. Прорабатываются маршруты и функциональное зонирование, способствующие раскрытию потенциала уникального природного места для посетителей. Ученые указывают, что от природной составляющей островной системы напрямую зависит климат Волгограда и всего региона. В концепции развития речных островов планируется адаптировать и применить опыт передовых энергоэффективных технологий и технологий нулевого потребления, чтобы без ущерба для природной системы организовать зоны экологического туризма (рис. 6).



Рис. 6. Предложение центра урбанизма «ВЯЗ», www.volgograd.kp.ru: <https://www.volgograd.kp.ru/daily/27395/4592023>

Сотрудники и студенты ИАиС ВолгГТУ предложили концепцию создания и развития благоустройства природных рекреационных пространств о. Голодный. Функциональное зонирование опирается на установленные природоохранной зоны и концепцию развития разных видов деятельности (водное, пляжное, участки и строения для отдыха, детская зона, участки для привалов и др.). Разрабатывается транспортная инфраструктура острова (тропиночно-пешеходное, тропы «здоровья», велосипедные дорожки и парковки) [20] (рис. 7, 8).

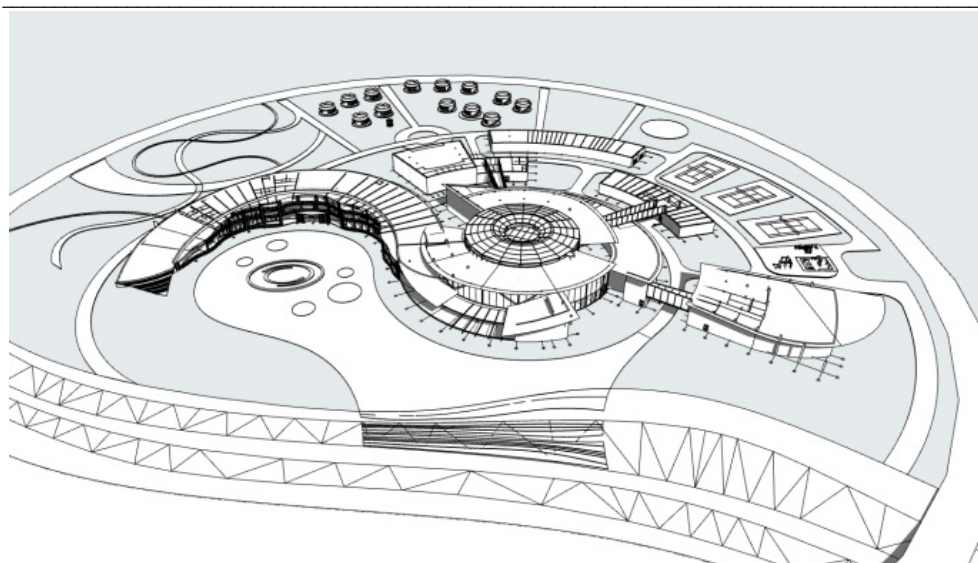


Рис. 7. Вид сверху на проектируемый объект, Е. С. Исаева, 2022 г.

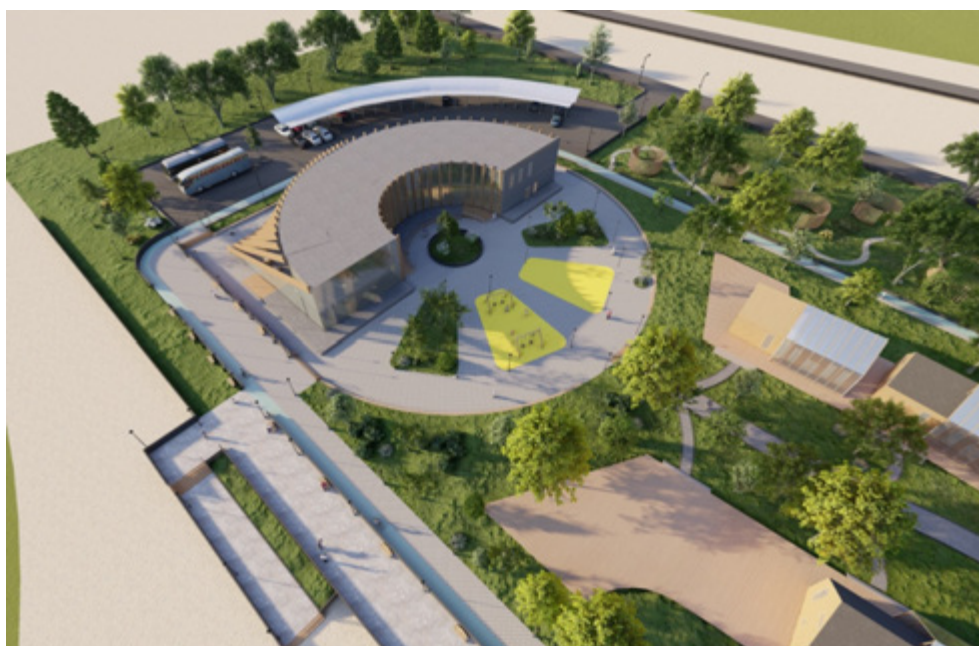


Рис. 8. Разработка центральной части экопоселения на о. Голодный, В. А. Плаксина, 2023 г.

Заключение

Представленное исследование показывает необходимость архитектурно-ландшафтной организации и благоустройства территорий системы речных островов на Волге. Создание озелененных экотерриторий речного острова становится приоритетной эколого-градостроительной задачей. Благоустроенные

рекреационные зоны выступают ресурсом для внедрения и апробации инновационных материалов и технологий проектирования и строительства.

Экологическая, хозяйственная и природная значимость о. Голодный, находящегося в границах Волгограда, определяет направления рекреационной деятельности и характер территорий строительства, выявляет необходимость формирования экологического каркаса озеленения, направленного на обеспечение комфортного состояния окружающей среды.

Создание благоустроенной, озелененной территории системы речных островов улучшит природно-климатические и эмоциональные условия жизни отдыхающих. Разнообразными станут формы отдыха при проектировании на территории острова новых кемпингов, экожилых домиков, участков пляжей, детских зон; расширится спектр услуг общения с природой в виде «здорового образа жизни», водные развлечения, пешие и велосипедные прогулки, другие активные формы отдыха на суше и воде.

Проектирование типологических особенностей эко-объектов отдыха как направление в архитектурно-градостроительной и ландшафтной деятельности развивается в соответствии с запросами населения (экономические, экологические и социальные предпосылки). Проведенное экспериментальное проектирование на территории о. Голодный зон отдыха учитывает природно-климатические факторы региона (жаркий климат и сильные сухие ветра), что отражено в требованиях пожарной безопасности по снижению нагрева поверхностей (огнестойкие материалы, определенная цветовая гамма в покраске объектов). Важным является экономия на охлаждении помещений за счет размещения солнечных батарей, дополнительное озеленение южных стен построек.

Формирование новых зон рекреаций направлено на выполнение важной социальной задачи — развитие внутреннего туризма в Волгоградской области, что повысит комфортность и привлекательность природного ландшафта острова, входящего в границы города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Guofeng Zh., Liyuan S., Zhuanxia Zh., Zhigang S.* Impact of landscape dams on river water cycle in urban and peri-urban areas in the Shiyang River Basin: Evidence obtained from hydrogen and oxygen isotopes // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602. 1267—79.
2. *Ping S., Grydehøj A.* Regionmaking and conceptual development in South China: Perceiving islands, the Pearl River Delta, and the Greater Bay Area // *Political Geography* 2022. Vol. 98. Art. 102668.
3. *Xu Zh., Belmont P., Gellis A. C.* Sediment source fingerprinting as an aid to large-scale landscape conservation and restoration: A review for the Mississippi River Basin // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 324. Art. 116260.
4. *Li X., Li Y., Feng L.* Driving effects of land use and landscape pattern on different spontaneous plant life forms along urban river corridors in a fast-growing city // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 876. Art. 162775.
5. *Xu C., Mingliang Zh., Wanchang Zh.* Landscape pattern changes and its drivers inferred from salt marsh plant variations in the coastal wetlands of the Liao River Estuary // *China Ecological Indicators*. 2022. Vol. 145. Art. 109719.
6. Linking urban park cool island effects to the landscape patterns inside and outside the park: A simultaneous equation modeling approach / L. Wei, J.-M. Guldmann, H. Li, C. Qiongwen, G. Dexin, X. Li // *Landscape and Urban Planning*. 2023. Vol. 232. Art. 104681.
7. *Donglin D., Yunfang J., Tiemao S.* Landscape character assessment of water-land ecotone in an island area for landscape environment promotion // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 259. Art. 120934.

8. Constructing and optimizing ecological network at county and town Scale: The case of Anji County / W. Nie, Y. Shi, M. J. Siaw, F. Yang, R. Wu, X. Wu, X. Zheng, Zh. Bao // *China Ecological Indicators*. 2021. Vol. 132. Pp. 1082—94.
9. *Puhakka R.* University students' participation in outdoor recreation and the perceived well-being effects of nature // *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2021. Vol. 36. Pp. 1004—25.
10. *Kurniawan F., Adrianto L., Prasetyo L. B.* Vulnerability assessment of small islands to tourism: The case of the Marine Tourism Park of the Gili Matra Islands // *Indonesia Global Ecology and Conservation*. 2016. Vol. 6. Pp. 308—326.
11. *Атопов В. И., Масляев В. Е., Лилявкин А. Ф.* Волгоград. М. : Стройиздат, 1985. 215 с.
12. *Ермилова Н. В.* В списке ЮНЕСКО: острова Сарпинский и Голодный. URL: <https://volganet.net/2021/17910>.
13. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Влияние рукотворных ландшафтных объектов на совершенствование эколого-эстетической составляющей окружающей среды городов Волгоградской области // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2017. Вып. 50(69). С. 221—234.
14. *Судаков А. В., Новицкий С. Л., Моников С. Н.* Волжские острова в границах г. Волгограда: природные условия и хозяйственно-рекреационный потенциал // *Псковский региональный журнал*. 2015. № 22. С. 18—30.
15. *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.
16. *Панченко Т. Ф., Знаменская Э. А., Сюнькова А. Я.* Руководство по формированию курортно-рекреационных систем. М. : Стройиздат, 1984. 182. с.
17. *Растяпина О. А., Прокопенко В. В., Ганжа О. А.* Критерии, определяющие уровень качества городской среды // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 2(87). С. 281—291.
18. *Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Плеваков И. Н.* Особенности решения прикладных задач в проведении оценки качества комфортных условий городской застройки // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2022. Вып. 1(86). С. 206—217.
19. *Сидоренко В. Ф., Игнатъев А. В., Аброськин А. А., Ганжа О. А.* Разработка и актуализация генерального плана города во взаимодействии с совершенствованием системы экологического мониторинга атмосферного воздуха для обеспечения оптимальных условий проживания // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2021. Вып. 3(84). С. 122—129.
20. *Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Растяпина О. А.* Формирование экологических поселений на территории Волгоградской области // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2020. Вып. 2(79). С. 233—244.

© *Иванова Н. В., Ганжа О. А., 2023*

*Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Ганжа О. А. Архитектурно-ландшафтная организация объектов рекреационной деятельности на территории острова Голодный Волгограда // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 2(91). С. 180—191.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. архитектуры, проф., проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ganzha_olga@mail.ru

Nina V. Ivanova, Ol'ga A. Ganzha

Volgograd State Technical University

ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE ORGANIZATION OBJECTS OF RECREATIONAL ACTIVITY ON TERRITORIES OF THE ISLAND OF GOLODNYI VOLGOGRAD

Studies of the territories of river islands within the boundaries of large cities are given and the possibilities of building architectural and landscape recreational facilities on them are evaluated. The modern foreign and domestic experience of designing tourist and recreational infrastructure is analyzed. The complex of factors influencing the preservation of the natural potential of the Volga-Akhtuba floodplain on the example of Golodnyi Island is determined. Experimental design of recreational facilities on the island is presented.

Key words: Volgograd, river islands, recreation facilities, tourist and recreational design.

For citation:

Ivanova N. V., Ganzha O. A. [Architectural and landscape organization objects of recreational activity on territories of the island of Golodnyi Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 180—191.

About authors:

Nina V. Ivanova — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

Ol'ga A. Ganzha — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ganzha_olga@mail.ru

УДК 711.142; 711.656

Н. В. Коростелева, А. В. Камнев, К. В. Акимова

Волгоградский государственный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА

Развитие городов влечет за собой сокращение пригодных земель и выдвигает проблему изыскания новых земельных ресурсов для городского строительства. Резервным территориальным фондом могут служить овражно-балочные системы, расположенные в городской черте. Проведен анализ существующих методов освоения овражных территорий для городских нужд, основных характеристик овражно-балочной сети, выполнено деление оврагов Волгограда по выявленным параметрам, разработаны рекомендации по их возможному градостроительному освоению.

Ключевые слова: овражно-балочные системы, городская среда, градостроительное освоение, ландшафтно-рекреационные объекты.

В градостроительстве овражно-балочные системы чаще всего относятся к участкам, создающим проблемы в использовании и развитии городских территорий [1, 2]. С наличием их в населенных пунктах связывают сокращение полезной площади земель, возникновение опасности разрушения объектов и коммуникаций в результате появления экзодинамических процессов. Нередко в городах наличие балок и оврагов способствует общему ухудшению экологической обстановки. Это связано с тем, что в них часто производится несанкционированное складирование мусора, могущее привести к попаданию загрязняющих веществ в горизонты подземных вод и последующему загрязнению городских водоемов [3—7]. Подтверждением служат ситуации, сложившиеся в Волгограде, имеющем хорошо развитую гидрографическую сеть [8, 9].

В современной практике градостроительного освоения территорий при работе с овражно-балочными системами (ОБС) возможны несколько вариантов развития ситуации: исключение оврагов из общей площади города без каких-либо изменений их свойств (рис. 1, *а*); исключение оврагов из общей площади города с предварительной их стабилизацией посредством проведения инженерных мероприятий (рис. 1, *б*); применение на данных территориях специальных инженерных мероприятий с последующим их градостроительным освоением (рис. 1, *в*); включение данных территорий в городскую среду после проведения обычных мероприятий по их благоустройству (рис. 1, *г*). [10—15].

Понятно, что наиболее простыми вариантами являются первые два. Но сегодня, во времена глобального дефицита территорий, для развития городов приходится вовлекать овражно-балочные системы в градостроительную практику.

Вовлечение городских оврагов и балок в сферу градостроительного освоения позволяет сократить изъятие сотен гектаров плодородных сельскохозяйственных земель, предотвратить почти повсеместное использование их в качестве свалок бытовых и строительных отходов. При этом открываются

возможности для создания широкого спектра многофункциональных, компактных, хорошо организованных и устойчивых в градостроительном отношении пространств [9, 16, 17].



Рис. 1. Примеры взаимодействия овражных территорий с населенными пунктами: *а* — овраг Дубовенький (памятник природы), Саратовская область; *б* — укрепление оврагов с помощью приовражных насаждений, Ленинградская область; *в* — проект застройки оврага Засора, г. Киров; *г* — благоустройство Лопатинского оврага, г. Нижний Новгород

По дну оврагов целесообразно прокладывать объекты транспортной и инженерной инфраструктуры (магистральные улицы, инженерные коммуникации). Это позволяет решить ряд градостроительных проблем:

- 1) повышается скорость движения транспорта из-за возможности организации пересечений проезжих частей в разных уровнях;
- 2) использование естественного уклона дна оврага позволяет минимизировать объем земляных работ;
- 3) из-за экранирующего эффекта склонов снижает шумовое загрязнение на прилегающих к оврагам территориях и в расположенных на них зданиях [18, 19].

Но для таких решений существуют определенные ограничения — не рекомендуется использовать для данных целей слишком глубокие овраги, т. к. могут возникнуть проблемы со связью данных объектов с городской инфраструктурой.

Что касается использования ОБС для застройки, то здания и сооружения в оврагах могут возводиться только при соблюдении 2 условий: стабилизации оврага, т. е. устранении причин его активного роста, и при крутизне склонов

не более 20°. Однако и в этих случаях склоны оврага необходимо террасировать под отдельные здания или группу зданий. Если строительство ведется на засыпанных или замытых оврагах, необходимо предусматривать искусственные основания (свайные фундаменты) из-за обычно более низкой несущей способности таких грунтов.

Самым оптимальным вариантом и менее затратным для освоения ОБС в градостроительных целях может стать организация на них объектов рекреационного назначения. Это отличное решение для оврагов, расположенных на селитебной территории городов.

Таким образом, можно утверждать, что освоение оврагов напрямую зависит от их характеристик. В первую очередь — от габаритов, активности их места возникновения, а также места расположения в структуре населенного пункта. При незначительной глубине оврага (до 2,5 м) его рекомендуется либо полностью засыпать и использовать эту территорию под строительство жилых зданий и сооружений, либо устраивать в нем места для хранения автомобилей. При большой глубине рекомендуется благоустройство и расположение рекреационных объектов [20]. Активные овраги — самые сложные для освоения, т. к. их необходимо стабилизировать. Наиболее простым методом является создание в них объектов рекреации.

По месту возникновения для градостроительных целей наиболее подходящими являются донные овраги. Балки, в которых они зарождаются, как правило, имеют большую ширину и устойчивые откосы. Донный овраг развивается из-за постоянного или временного водотока по дну балки, это можно использовать для создания небольших прудов-запруд, которые могут служить, например, для благоустройства парковых территорий. Это является одновременно и украшением парка, и эффективным противоэрозийным приемом гашения скорости водного потока по днищу оврага. Что касается месторасположения, то наиболее привлекательными для освоения являются овраги, расположенные на территории селитебной зоны.

Подробнее остановимся на перспективах освоения ОБС в Волгограде.

В Волгограде располагается значительное количество балок и оврагов общей площадью 2286 га, при этом их площадь ежегодно растет (удлиняются в среднем за год на 3—4 м). Наиболее распространенными являются береговые овраги, прорезающие склоны речных долин и балок, и донные, встречающиеся на днищах большинства древних балок. По габаритам в городе наблюдается преобладание крупных оврагов, — их численность составляет более 60 %, средние овраги занимают порядка 37 %, а малые — всего 2 % (рис. 2, 3).

На схеме расположения ОБС по территории Волгограда (см. рис. 2) можно заметить, что овраги и балки практически равномерно распределены по всей площади города. Но есть определенные особенности: больше всего крупных оврагов и балок находится в северной части города (Тракторозаводский район), там же располагается и самый протяженный и большой по площади объект — пойма р. Мокрая Мечетка. Если рассматривать остальные районы города, то наиболее крупным объектом в Краснооктябрьском районе является Вишневая балка, в Дзержинском районе — пойма р. Дубовки, в Ворошиловском — пойма р. Царицы, в Советском — береговой овраг р. Ельшанки, Кировском — балка Найденова, Красноармейском — балка Чапурниковская.

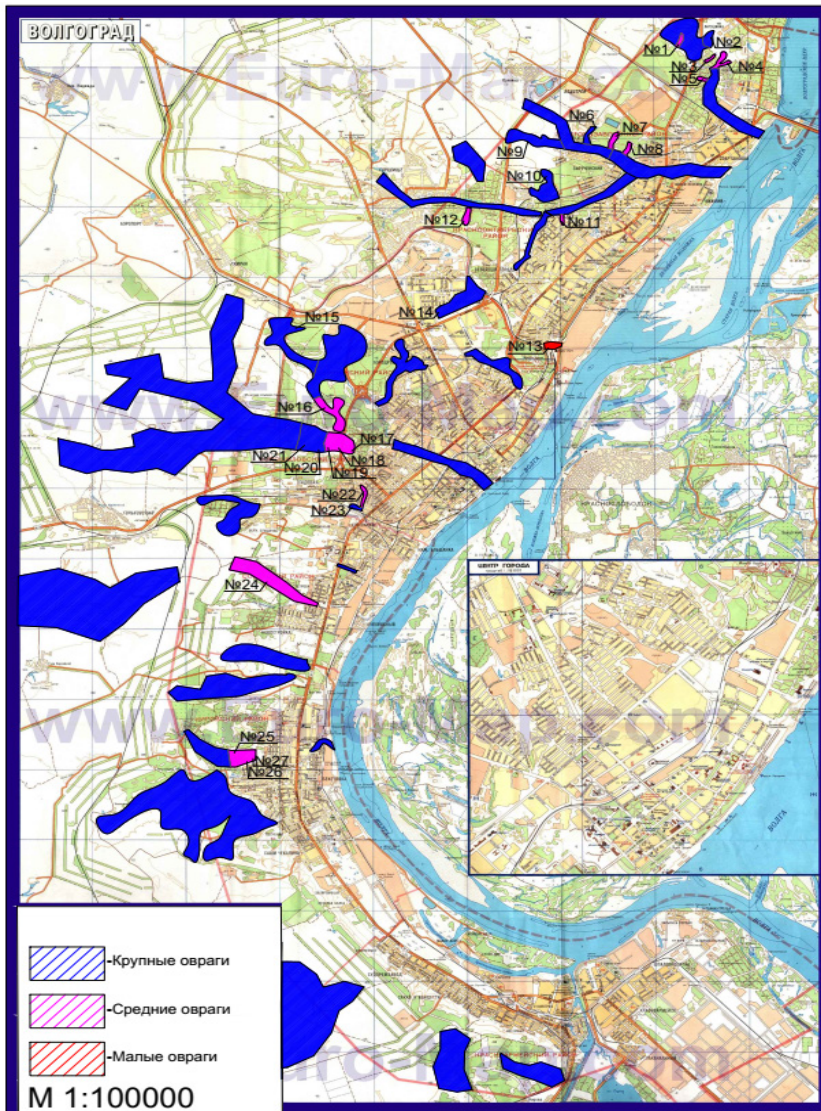


Рис. 2. Схема деления ОБС Волгограда по габаритам



Рис. 3. Процентное соотношение оврагов по размерам на территории Волгограда

Треть из всей ОБС Волгограда составляют балки и поймы рек (рис. 4). Все они крупные и более-менее равномерно расположены по всем районам города, что является скорее преимуществом для горожан, т. к. их можно переделать в парковые территории с минимальными изменениями естественного ландшафта. Озеленение балок намного выгоднее в экономическом плане, т. к. требует минимума мероприятий по стабилизации склонов, в отличие от оврагов, крутые склоны которых нужно как следует укреплять и озеленять. Не стоит забывать, что в большей части балок есть сформировавшаяся растительность, которая служит пристанищем различным диким животным, это необходимо учитывать при освоении.

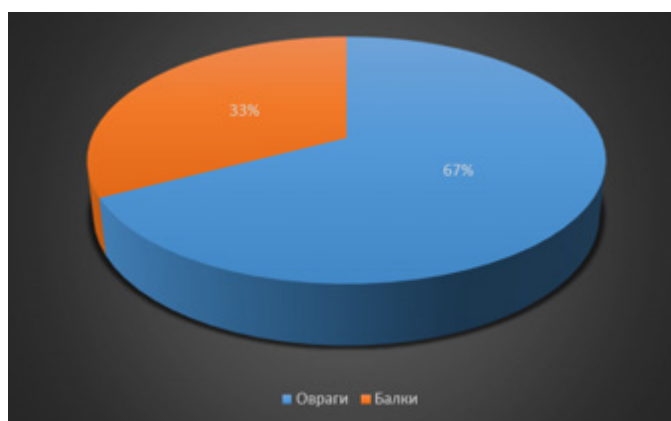


Рис. 4. Процентное соотношение балок и пойм рек к оврагам Волгограда

Важным критерием для использования или застройки территории города являются документы территориального планирования, а также правила землепользования и застройки (ПЗЗ). Используя карту градостроительного зонирования Волгограда, авторы составили схему градостроительного использования овражной территории города (рис. 5).

При анализе схемы выявлено, что большую часть территорий ОБС города рекомендуется осваивать под объекты рекреационного назначения. К ним относятся крупные балки и поймы, расположенные на границах районов города, имеющие большой потенциал для создания парковых зон.

В городе есть примеры реализации такого решения. Это проект 1-й очереди Царицынского парка (территория «Раздолье»), расположенного на границе Центрального и Ворошиловского районов города в пойме р. Царицы.

На дне поймы расположились: интерактивный музей «Россия — Моя история», каток, сухие фонтаны, большое количество детских и спортивных площадок и другие развлекательные комплексы (рис. 6).

Левый склон поймы отдан под спортивно-развлекательный объект — тюбинговую трассу. Что касается правого склона поймы, имеющего больший уклон, то его освоение заняло более длительный период времени, что связано с крутизной уклона, сложностью вертикальной планировки и организацией дренажирования данной территории. При разработке ландшафта на данном склоне проектировщики постарались сохранить наибольшее количество существующей растительности и в целом — естественность рельефа. Сейчас на

этом склоне расположен сквер им. А. Пахмутовой (рис. 7). Вся территория представлена в виде тихой зоны с развитой пешеходно-тропиночной сетью, местами отдыха в виде беседок, навесов и скамеек, имеются специализированные велодорожки, дорожки для маломобильных групп населения и детских колясок, несколько площадок для пассивного отдыха. Породный состав растительности для данного проекта был рассчитан и подобран таким образом, чтобы сохранить естественный вид существующего ландшафта, но при этом добавить в него разнообразия.

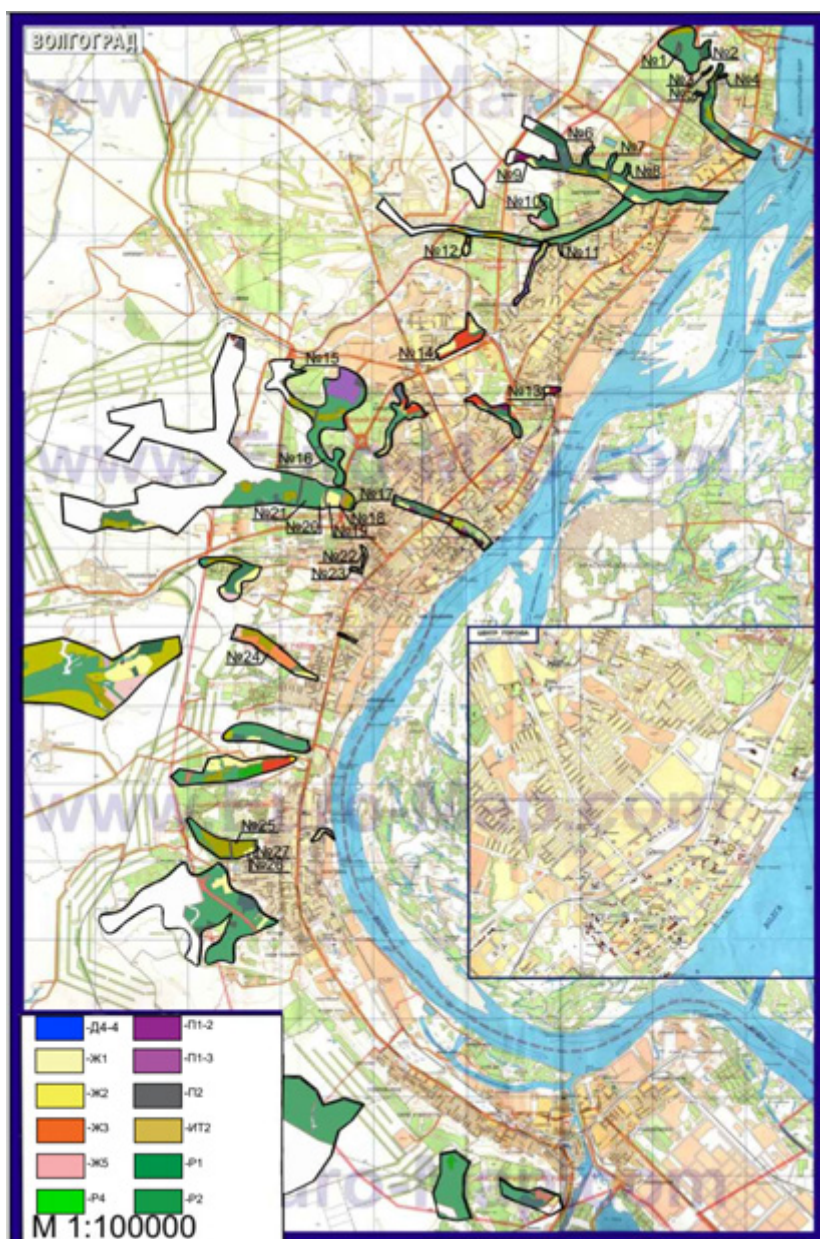


Рис. 5. Схема градостроительного использования ОБС Волгограда согласно ПЗЗ



Рис. 6. Территория парка «Раздолье», Волгоград



Рис. 7. Сквер им. А. Пахмутовой

Средние овраги, расположенные в центральной части города, рекомендуется использовать под жилищное строительство. На удаленных территориях от центра, где больше присутствует индивидуальная застройка, рекомендуется организация коллективных садов или озеленения специального пользования по типу лесозащитных полос.

С учетом проведенного анализа ОБС Волгограда разработана схема по наиболее рациональному, на наш взгляд, освоению данных территорий для градостроительных целей (рис. 8).

Анализ основных характеристик данных территорий показывает, что они имеют разнообразный градостроительный потенциал, но наиболее оптимально их использовать для строительства рекреационных объектов различного назначения. Это позволит решить ряд проблем в городе:

1) организация парковых территорий позволит улучшить благоустройство и озеленение города в целом, приблизив их показатели к нормативным значениям, создаст благоприятные условия для доступности данных объектов, т. к. овраги равномерно распределены по территории города;

2) освоение ОБС под объекты рекреации позволит сохранить ее влияние на состояние качества городской среды. ОБС обеспечивает вентиляцию

городской территории и изменяет микроклимат в прилегающих к ней микрорайонах, является естественной дренажной системой;

3) позволит максимально сохранить имеющуюся на данных территориях флору и фауну;

4) такой вид использования позволит сэкономить на инженерных мероприятиях по подготовке территорий для градостроительного освоения.

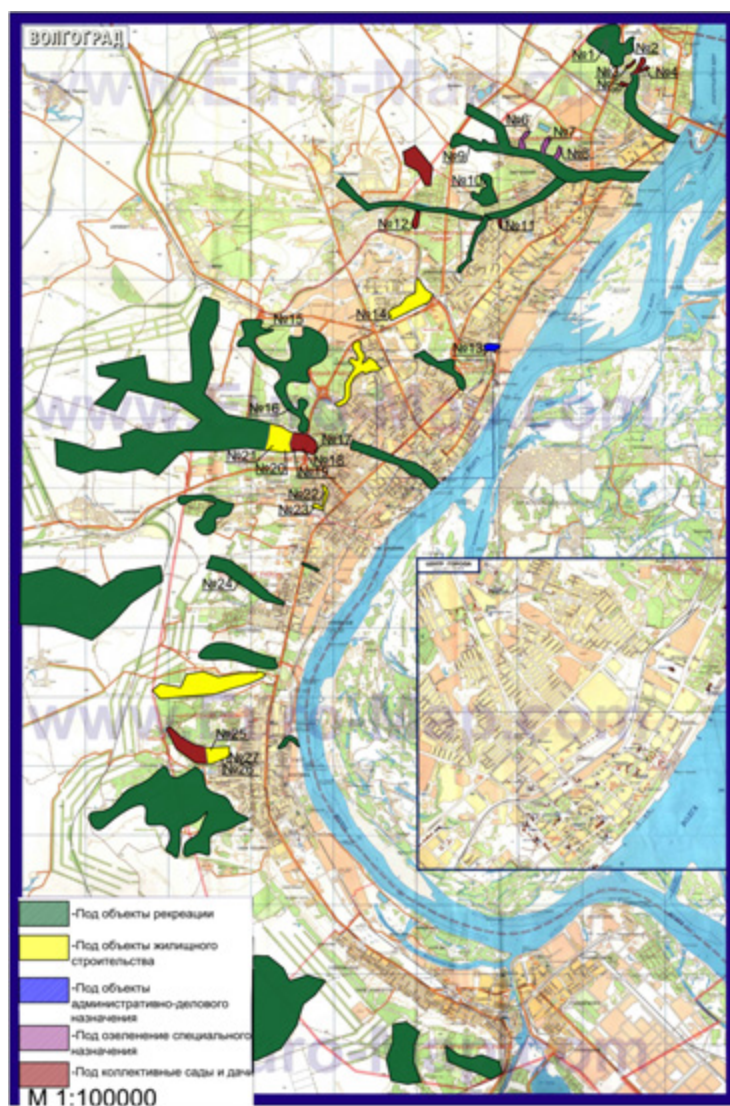


Рис. 8. Схема рекомендаций по освоению ОБС Волгограда

Таким образом, на сегодняшний день овражные территории Волгограда являются одним из основных его территориальных ресурсов по оптимальности месторасположения, по стоимости освоения и по оборудованию инженерными и транспортными сетями. Используя такой территориальный резерв, можно создать компактное городское пространство, которое будет отвечать всем необходимым градостроительным, экономическим и социальным требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Urban Gully Assessment in Sao Louis City (Maranhao State) Brazil, Using Penetrometer Data and Soil Properties / A. J. T. Guerra, R. Sathler, S. P. Mendes, S. L. S. Silva, T. T. Guerra, I. H. M. Araujo, S. Lima // *Tropical and Subtropical Geomorphology*. 2006. Vol. 16. No. 1, Pp. 1—10.
2. *Eseigbe J. O., Ojeifo M. O.* Aspects of Gully Erosion in Benin City Edo State, Nigeria // *Research on Humanities and Social Sciences*. 2012. Vol. 2. Pp. 22—26.
3. *Гайфутдинова Т. В.* Овражно-балочные системы северо-восточной части города Набережные Челны // *Вестник Удмуртского университета. Серия: «Биология. Науки о Земле»*. 2009. № 2. С. 119—123.
4. *Дикарева Е. А., Сорокин А. М.* Применение инновационных технологий при ландшафтно-экологической реконструкции нарушенных территорий (на примере города Волгограда) // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2020. Вып. 2(79). С. 215—223.
5. *Лукашев О. В., Жуковская Н. В.* Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Витебска тяжелыми металлами // *Природные ресурсы*. 2006. № 4. С. 52—58.
6. *Савченко, С. В., Головатый С. Е., Лукашенко Н. К., Коробчук Л. А.* Тяжелые металлы в почвах пойменных экосистем малых водотоков г. Витебска // *Природные ресурсы*. 2005. № 3. С. 132—136.
7. *Gregory J. H., Dukes M. D., Jones P. H., Miller L.* Effect of Urban Soil Compaction on Infiltration Rate // *Journal of Soil and Water Conservation*. 2006. Vol. 6. No. 1. Pp. 117—124.
8. *Анисимова О. Л.* Системный подход к изучению овражно-балочной сети г. Волгограда: дисс... канд. геогр. наук. Волгоград, 2004. 177 с.
9. *Бузинова А. С.* Оценка экологического состояния прибрежно-водных экосистем (Волгоградская область) // *Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы VI Международной науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной году экологии в России*. Брянск : Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2017. С. 25—31.
10. *Затолокина Н. М., Лукашова Н. В.* Отрицательный рельеф на городских территориях // *Вектор ГеоНаук*. 2019. Т. 2. № 1. С. 27—32.
11. *Коростелева Н. В., Долганов В. А., Азизов Д.И.* Градостроительное освоение овражных территорий на примере г. Волгограда // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 1(74). С. 168—176.
12. *Казнов С. Д., Казнов С. С.* Рациональное использование городских овражно-балочных территорий для целей градостроительства: проблемы, промежуточные итоги исследований // *Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2014. № 17. С. 101—105.
13. *Zhang T., Hu Q., Fukuda H., Zhou D.* The Evaluation Method of Gully Village's Ecological Sustainable Development in the Gully Regions of Loess Plateau // *Journal of Building Construction and Planning Research*. 2016. Vol. 4. Pp. 1—12.
14. *Adediji A., Ibitoye M.* Urban Gully Development in Southwestern Nigeria // *Positioning*. 2013. Vol. 4. Pp. 183—191.
15. *Ibitoye M. O.* Evaluation of Urban Gullies Characteristics in Southwestern Nigeria. Unpublished Ph. D. Thesis. Obafemi Awolowo University, 2012. Pp. 67—145.
16. *Краснокутская Е. А.* Реабилитация нарушенных территорий: зарубежный и отечественный опыт // *Молодой исследователь: вызовы и перспективы : сб. статей по материалам ССИ международной науч.-практич. конф. М. : Интернаука, 2021. С. 183—189.*
17. Опыт градостроительного освоения овражно-балочных систем в Витебске / А. Н. Галкин, В. Ф. Котягов, А. П. Кремнев, И. А. Красовская, Л. С. Германова, Л. А. Смоляков // *Сергеевские чтения*. Вып. 14. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий: матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М. : ГЕОС, 2012. С. 265—270.
18. *Коростелева Н. В.* Анализ степени влияния различных факторов на уровень шума городских магистралей // *Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Международной конф., посвященной 60-летию образования вуза: в 2 ч.* Волгоград : Изд-во ВолГАСУ, 2012. С. 190—194.
19. *Brechler J., Fuka V.* Impact of Noise Barriers on Air-Pollution Dispersion // *Natural Science*. 2014. Vol. 6. Pp. 377—386.

20. *Коньшьева О. В., Коростелева Н. В.* Проблемы и пути освоения сложного рельефа города Волгограда // Ежегодная науч.-технич. конф. профессорско-преподавательского состава и студентов Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Волгоград, 2014 г. С. 297—300.

© *Коростелева Н. В., Камнев А. В., Акимова К. В., 2023*

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Коростелева Н. В., Камнев А. В., Акимова К. В. Перспективы градостроительного освоения овражно-балочных систем города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 192—201.

Об авторах:

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; korostelevanv@mail.ru

Камнев Анатолий Владимирович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; anatoij.kamnev@mail.ru

Акимова Кристина Викторовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; cristina.acimova@mail.ru

Nataliya V. Korosteleva, Anatolij V. Kamnev, Kristina V. Akimova

Volgograd State Technical University

PROSPECTS FOR URBAN DEVELOPMENT OF GULLY AND BEAM SYSTEMS OF THE CITY OF VOLGOGRAD

The development of cities entails a reduction in suitable land and puts forward the problem of finding new, additional land resources for urban construction. Under these conditions, ravine-beam systems located in the city limits can serve as a reserve territorial fund. The article analyzed the existing methods for the development of ravine areas for urban needs. The work analyzed the main characteristics of the ravine-beam network, divided the ravines of the city of Volgograd according to the identified parameters and developed recommendations for their possible urban development.

Key words: ravine and beam systems, urban environment, urban development, landscape and recreational facilities.

For citation:

Korosteleva N. V., Kamnev A. V., Akimova K. V. [Prospects for urban development of gully and beam systems of the city of Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 192—201.

About authors:

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

Anatolij V. Kamnev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; anatoij.kamnev@mail.ru

Kristina V. Akimova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; cristina.acimova@mail.ru

УДК 721.011

А. А. Блажнов

Орловский государственный аграрный университет

**ТОЧЕЧНАЯ ЖИЛАЯ ЗАСТРОЙКА:
ВОЗМОЖНОСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ
ПРИДОМОВОЙ ТЕРРИТОРИИ НА СЛОЖНОМ РЕЛЬЕФЕ**

Одной из положительных сторон точечной многоэтажной жилой застройки является возможность использования в градостроительных целях овражных территорий. Однако площадь планируемого под застройку участка со сложным рельефом не всегда может быть достаточной для благоустройства и размещения мест для хранения автомобилей. Рассмотрено проектное решение жилого комплекса точечной застройки с примыкающей к зданиям со стороны оврага подземной автостоянкой. Показана возможность значительного увеличения площади придомовой территории, размещения компонентов благоустройства на эксплуатируемом покрытии стоянки и снижения стоимости строительства.

К л ю ч е в ы е с л о в а: точечная застройка, овражная территория, придомовая территория, подземная автостоянка, благоустройство.

В городском строительстве в настоящее время находит широкое применение комплексный способ развития территорий, позволяющий создавать целые микрорайоны с необходимой инфраструктурой. В зависимости от особенностей осваиваемой территории используются различные типы застройки: периметральная, строчная, групповая, точечная, свободная, а при реконструкции районов — комбинированная.

Так называемая точечная застройка, обычно — односекционные многоквартирные дома повышенной этажности и высотные [1], используется реже других типов застроек, но не утратила своей актуальности. Миграция населения в города с развитой инфраструктурой обусловила необходимость нового строительства и уплотнения существующей застройки точечными объектами при отсутствии свободных площадей [2—5].

У точечной застройки есть несколько плюсов: проще застраивать участки со сложным рельефом, остаются значительные территории с сохранением растительности, использование небольших участков при уплотнении застройки, близость сложившейся социальной инфраструктуры (детские сады, школы и др.) и удобная транспортная развязка.

К недостаткам точечной застройки можно отнести: более высокую стоимость квартир, ориентированных в основном на обеспеченных покупателей, проблемы подключения к существующим инженерным коммуникациям, сложность строительства в условиях сложившейся застройки. В связи с ограниченной площадью придомовой территории возникает проблема рационального благоустройства и размещения парковочных мест.

К настоящему времени в крупных и крупнейших городах значительно снизилось количество свободных площадей для ведения нового строительства [2]. Одним из путей решения градостроительной проблемы является застройка встречающихся в городах овражных территорий, для которой можно использовать и точечные объекты. Приведен пример архитектурного проекта

жилого комплекса точечной застройки с пояснением принятых решений, показывающий одну из возможностей использования городских неудобий.

Придомовая территория является промежуточным звеном между собственной квартирой и общегородской территорией [6], ее качественное благоустройство в значительной степени влияет на эмоциональное состояние жильцов [7, 8]. В ряде работ отмечены неудовлетворительное состояние современного благоустройства дворовых территорий и необходимость его совершенствования [6, 9—11], показано, что формирование комфортного для жильцов придомового пространства должно осуществляться с учетом ряда факторов, в качественной оценке которых они должны участвовать [12—14]. В [15] установлены и проанализированы 3 основные группы факторов, определяющие качество благоустройства дворовых территорий: многофункциональные, планировочные и эстетические. По результатам социального опроса наиболее значимыми для горожан оказались многофункциональные показатели (наличие озеленения, парковок, использование энергоэффективных технологий) и эстетические (наличие площадок для отдыха). Эти показатели, на наш взгляд, в первую очередь необходимо учитывать при разработке проекта благоустройства придомовой территории многоэтажных жилых зданий.

Автомобилизация населения породила проблему создания парковочных мест для хранения легковых автомобилей на благоустраиваемой территории жилой застройки. В соответствии с СП 42.13.330—2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (п. 11.33) на территории жилых районов и микрорайонов следует предусматривать места для хранения автомобилей в подземных стоянках, при размещении новой жилой застройки в квартале сложившейся застройки парковочные места должны быть предусмотрены в границах земельных участков жилых домов. Подземные парковки имеют ряд преимуществ: экологичность, быстрая доступность транспортных средств, их лучшая сохранность, постоянство температуры. Но главное достоинство подземной парковки — сооружение не занимает отдельную территорию и помогает рационально использовать придомовое пространство [16]. Расчеты выявили примерно одинаковый уровень технико-экономических показателей подземного и закрытого наземного паркингов. Например, стоимость машино-места в одноэтажном подземном паркинге на 93 машино-места незначительно (на 2 %) превышает аналогичную стоимость в закрытом 3-уровневом наземном паркинге на 83 машино-места [17].

На стадии проектирования снизить стоимость строительства подземной парковки, примыкающей к многоэтажным зданиям, при сложном рельефе участка застройки возможно, размещая парковку в круто пониженной его части и даже в овраге. При этом сократятся затраты на земляные работы и наружные ограждающие конструкции, на которые не будет действовать давление грунта. Примеры использования овражных территорий в градостроительстве известны [18].

С учетом приведенных в [15] наиболее значимых компонентов благоустройства придомовой территории и установленной возможности размещения парковки в овражной части территории застройки разработано проектное решение жилого комплекса для участка со сложным рельефом в г. Липецке [19].

Жилой комплекс представляет собой 2 отдельно стоящих односекционных 25-этажных здания с пристроенной в уровне 1-го этажа подземной

1-этажной автостоянкой закрытого типа, объединяющей их в единый комплекс и преимущественно располагающейся в овражной части территории (рис. 1). При общей площади участка 1,28 га площадь застройки подземной автостоянки с эксплуатируемой кровлей составляет 0,48 га, что позволило искусственно увеличить площадь придомовой территории почти на половину.

Размеры в осях каждого многоэтажного здания $25,4 \times 22,06$ м, архитектурная высота 83 м. Общее количество квартир в 2 зданиях — 361, их суммарная площадь составляет 19782 м^2 . Фундаменты в обоих зданиях предусмотрены в виде монолитной железобетонной фундаментной плиты толщиной 1,2 м, передающей нагрузку на свайное поле. Каркасы зданий — монолитные железобетонные колонны переменного сечения от $0,25 \times 1,3$ м в нижней части зданий до $0,25 \times 0,8$ м в верхней; монолитные плиты перекрытий запроектированы толщиной 0,2 м. Наружные стены, опирающиеся на плиты перекрытия каждого этажа, — из ячеистобетонных блоков.

Фасады жилых зданий выполнены в стиле «пиксельной» архитектуры с использованием бирюзово-синего, серого и белого цветов. Предусмотрена облицовка нижней части зданий до 4 этажа фиброцементными панелями серого оттенка с чередованием серых и бирюзово-серых вставок под окнами, что разбавляет основной цвет здания. С четвертого этажа здания облицовываются фиброцементными плитами по навесной фасадной системе с воздушным зазором.



Рис. 1. Визуализация запроектированного жилого комплекса

Высота одноэтажной автостоянки от пола до низа перекрытия принята равной 3,8 м. Автостоянка запроектирована с монолитным каркасом, основывающемся на железобетонной фундаментной плите толщиной 0,5 м. Колонны предусмотрены сечением $0,4 \times 0,4$ м с капителям размером $1,8 \times 1,8 \times 0,5$ (h) м,

безбалочное перекрытие имеет толщину 0,25 м, толщина наружных монолитных стен 0,3 м. Подогреваемая в холодный период рампа запроектирована монолитной железобетонной, толщиной 250 мм. Кровля автостоянки предусмотрена эксплуатируемой, на ней расположены пожарные проезды, тротуары, газоны, детские площадки, площадка для занятий спортом и площадка отдыха взрослых. По периметру автостоянки предусмотрен железобетонный парапет толщиной 0,3 м и высотой 1,4 м.

Всего на территории разработанного объекта предусмотрено 292 машино-места для временного хранения автомобилей. В автостоянке размещены 134 машино-места (рис. 2), на эксплуатируемой кровле автостоянки — 43 машино-места и 115 машино-мест предусмотрены для парковки на земельном участке (рис. 3).

На эксплуатируемой кровле автостоянки размещены детские и взрослые площадки, предусмотрены места для временного хранения автомобилей, озеленение. Для доступа автотранспорта на эксплуатируемую кровлю запроектирована рампа с применением соответствующей сигнализации и подогревом в зимнее время. Расчет площадей детских площадок для игр и взрослых для отдыха, а также площадок для занятий физкультурой и хозяйственных целей, размещаемых в границах земельного участка, осуществлялся на основании требований СП 42.13330—2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».

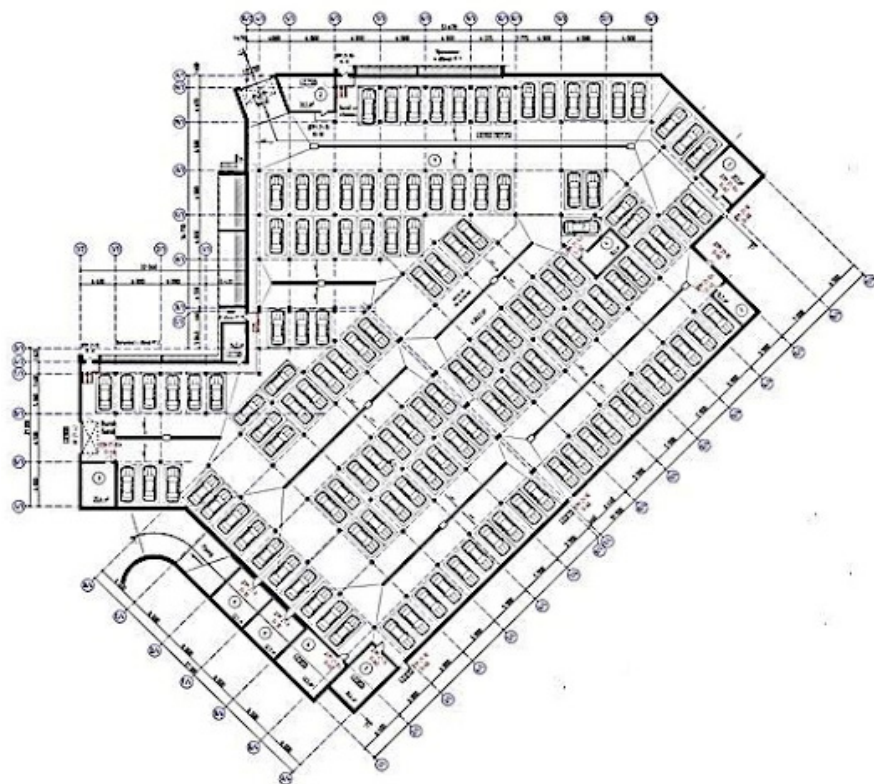


Рис. 2. Расположение парковочных мест в автостоянке



Рис. 3. Расположение наземных парковочных мест на территории участка

Основываясь на вышеприведенных данных, можно сделать вывод, что при точечной застройке (и не только) использование овражных участков для размещения парковок с эксплуатируемой кровлей позволяет значительно увеличить площадь благоустраиваемой придомовой территории. При этом сокращаются затраты на земляные работы и наружные стены парковки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев А. К., Туснина В. М. Архитектура зданий. М. : Академия, 2014. 336 с.
2. Сидоренко В. Ф., Кузнецов Г. С. Разработка метода оценки влияния точечной застройки на изменение градоэкологической ситуации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 224—232.
3. Advancing urban ecology toward a science of cities / T. McPhearson, S. T. A. Pickett, N. B. Grimm, J. Niemelä, M. Alberti, T. Elmqvist, C. Weber, D. Haase, J. Breuste, S. Qureshi // BioScience. 2016. Vol. 66. No. 3. Pp. 198—212.
4. Towards a comparative science of cities: Using mobile traffic records in New York, London, and Hong Kong / S. Grauwin, S. Sobolevsky, S. Moritz, I. Gódor, C. Ratti // GEOTECH. 2015. Vol. 13. Pp. 363—387.

5. *Townsend A.* Cities of data: Examining the new urban science // *Public Culture*. 2015. Vol. 27. No. 2. Iss. 76. Pp. 201—212.
6. *Кульков А. А., Рогожкин А. А.* Проблемы формирования комфортной и безопасной среды дворового пространства в условиях развития жилищного строительства // *Российское предпринимательство*. 2017. Т. 18. № 23. С. 3847—3859.
7. *Weina Ch.* Decode the City: A Methodological Study Responding to the New Trend of City “Re-image” Montreal as a Case. Montreal, 2009. 75 p.
8. *Laura K., Esch M. V., Salcedo T. B.* How to Make a City Climate-Proof, Addressing the Urban Heat Island Effect // *Resources, Conservation and Recycling*. 2012. No. 64. Pp. 30—38.
9. *Matovnikov S., Matovnikova N., Samoilenko P.* The problems of designing a multifunctional courtyard space of high-rise buildings by the example of residential development in Volgograd. URL: https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/08/e3sconf_hrc2018_01006/e3sconf_hrc2018_01006.html.
10. *Самойлова Н. В., Попова Е. Д.* Современное состояние проблемы благоустройства территорий дворовых пространств // *Символ науки*. 2017. Т. 2. № 1. С. 194—200.
11. *Ещина Е. В., Полянина А. Ю.* Проблемы комплексного благоустройства дворовых территорий крупных городов России // *Образование и наука в современном мире. Инновации*. 2016. № 4. С. 164—172.
12. *Alnusairat S., Elsharkawy H.* Passive design approach for high-rise buildings: from courtyards to sky courts. URL: https://www.researchgate.net/publication/316597624_Passive_design_approach_for_highrise_buildings_from_courtyards_to_sky_courts.
13. *Ghasemia Z., Esfahania M., Bisadia M.* Promotion of Urban Environment by Consideration of Human Thermal & Wind Comfort: A literature review // *Asian Conference on Environment-Behaviour Studies*. Tehran, 2015. Pp. 397—408.
14. *Mohamad A. M.* Quality of life indicators in value urban areas: Kasr Elnile Street in Cairo // *Procedia — Environment.—Behaviour Studies*. 2012. Vol. 50. Pp. 254—270.
15. *Растяпина О. А.* Определение показателей оценки благоустройства дворового пространства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 287—296.
16. *Коростелева Н. В., Азизов Д. И., Долганов В. А.* Проблемы организации мест для хранения автомобилей на жилой территории на примере города Волгограда // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 63—72.
17. *Макаренко В. А., Голубова О. С.* Оценка затрат на строительство паркингов многоэтажной жилой застройки г. Минска // *Инженерный бизнес : сб. матер. II Межд. науч.-практ. конф. в рамках 19-й Межд. науч.-практ. конф. БНТУ «Наука — образованию, производству и экономике»*. Минск : БНТУ, 2022. С. 191—197.
18. *Бортникова А. В., Боголепова А. И., Рябова А. В.* Использование рельефа городской среды в создании комфортных зон паркингов и перехватывающих парковок на примере города Воронежа // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2018. № 2. С. 68—73.
19. *Тихонова А. А.* Повышение эффективности точечной высотной жилой застройки. Орел : Орловский ГАУ, 2022. 81 с.

© Блажнов А. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Блажнов А. А. Точечная жилая застройка: возможность рационального формирования придомовой территории на сложном рельефе // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 202—208.

Об авторе:

Блажнов Александр Александрович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. агропромышленного и гражданского строительства, Орловский государственный аграрный университет. Российская Федерация, 302016, г. Орел, ул. Комсомольская, 142; blazhnov47@mail.ru

Aleksandr A. Blazhnov

Orel State Agrarian University

**SPOT DEVELOPMENT: AN OPPORTUNITY RATIONAL FORMATION
OF HOUSEHOLD TERRITORIES ON COMPLEX RELIEF**

One of the positive aspects of point multi-storey residential development is the possibility of using ravine territories for urban planning purposes. However, the area of a site with difficult terrain planned for development may not always be sufficient for landscaping and placement of car storage spaces. The possibility of a significant increase in the area of the adjacent territory, the placement of landscaping components on the operated parking surface and a reduction in the cost of construction is shown.

Key words: point development, ravine territory, house territory, underground parking, landscaping.

For citation:

Blazhnov A. A. [Spot development: an opportunity rational formation of household territories on complex relief]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 202—208.

About author:

Aleksandr A. Blazhnov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Orel State Agrarian University. 142, Komsomolskaya st., 302016, Orel, Russian Federation; blazhnov47@mail.ru

УДК 72.012.8

М. Д. Вальковская, Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко

Волгоградский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ В ДИЗАЙНЕ ЖИЛЫХ ИНТЕРЬЕРОВ

Рассматривается использование современных подходов в дизайне жилых интерьеров. Освещаются вопросы планировки квартир, функционального зонирования, актуальных стилей в интерьере, их особенностей, а также тенденций в применении материалов, освещения. Приведены примеры инновационных подходов к решению проблемы создания комфортной и привлекательной жилой среды в отечественном и зарубежном дизайне жилого интерьера.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дизайн интерьера, хай-тек, материалы, функциональное зонирование, перепланировка, освещение.

Введение

Человек большую часть своей жизни проводит внутри зданий, преимущественно это его собственный дом, а также место работы. Интерьер значительно влияет на качество жизни и должен создавать для человека как физический, так и психологический комфорт. Это сегодня особо актуально, так как люди начинают уделять больше внимания своему личному пространству и ментальному здоровью, от которого зависит очень многое в нашей жизни [1, 2].

В связи с этим формируются новые подходы в дизайне жилого интерьера, отметим отличительные черты современных квартир:

1. Площадь квартиры разделена на изолированные функциональные зоны гостевых и частных помещений.
2. Площадь используется рационально, в помещении просторно, минимум декора, только необходимая мебель. Стремление к простоте и эргономичности.
3. Короткая и удобная взаимосвязь комнат через коридоры, нет проходного через помещение транзита. Возможность совмещения кухни с гостиной, ванной комнаты и туалета в один санузел, что гораздо рациональнее для сохранения площади.
4. Расположение панорамных окон позволяет выбрать квартиру с необходимой освещенностью помещений.
5. Автоматизация, использование современных технологий.
6. Нейтральное цветовое решение интерьера с яркими акцентами.
7. Индивидуальность, свобода выбора. Высокий уровень комфорта [3—5].

Главная задача в дизайне жилого интерьера — создать индивидуальный проект, который отвечает желаниям каждого члена семьи, учитывает особенности, включающие в себя культуру, религию, род деятельности, хобби, темперамент, возраст, пол и т. д. Квартира должна быть эстетически привлекательной [6]. Учет данных аспектов, внимательность к ним значительно влияют на удовлетворение потребностей заказчика при создании дизайн-проекта. Существует несколько способов создать жилое пространство под нужды

заказчика, наиболее дорогой, но самый эффективный — перепланировка. Выделим следующие варианты перепланировки интерьера:

1. Единое пространство (студия) с организованным зонированием — для одиноких людей или семейной пары.
2. Объединение кухни и гостиной.
3. Объединение гостиной с прихожей.
4. Перенос кухни в зону коридора.
5. Объединение ванной комнаты с туалетом.
6. Перепланировка 2-комнатной квартиры в 3-комнатную.
7. Перепланировка 3-комнатной квартиры в 4-комнатную.
8. Объединение 2 квартир.

Более доступным вариантом является зонирование существующей планировки. Оно позволяет разделить помещение на 2—4 функциональные зоны, встраивать в существующие комнаты 1—2 новые изолированные. Особенно актуально это для обустройства интерьера детских. Как правило, выделяют следующие функциональные зоны: коммуникационно-хозяйственная зона (гардероб, коридор, подсобные помещения, кухня), зона гигиены (санузлы), зона отдыха и развлечений, рабочая зона (кабинеты), личная зона (спальни). Зонирование помещений позволяет наиболее полно учитывать стиль жизни заказчика и состав его семьи, если он с ней проживает.

Особенно важно создать удобный и многофункциональный интерьер, который мог бы оставаться комфортным для проживания и по прошествии лет, так как сам по себе человек постоянно меняется: его окружение, деятельность, возраст, мировоззрение, образ жизни, а семья может расти, количество живущих вместе людей меняться. В таком случае особо актуален вопрос выбора мебели и, в частности, организации мест хранения. Предлагается обустроить интерьер функционально, без чрезмерного наполнения, лишнего декора, создающего захламленность. Даже в малогабаритной квартире можно рационально использовать площади и сохранять свободное пространство, которое не сковывает движения, и в то же время создать интерьер эстетически привлекательным. При решении вопроса организации мест хранения предполагается проектирование интерьеров с индивидуально разработанной встроенной мебелью для формирования комфортной и эргономичной жилой среды. Кроме того, разрабатываются варианты трансформируемой мебели, которая экономит площадь и подстраивается под конкретную функциональную задачу без отказа от комфорта, а также имеет необычный дизайн. Например стулья, которые можно без усилий повесить на стену (рис. 1), диван-трансформер, модули которого разворачиваются и меняются местами как угодно (рис. 2) [7].

Помимо трансформируемой мебели визуально расширить пространство возможно еще одним способом — мимикрией. Она заключается в крайнем внешнем сходстве двух объектов и в интерьере используется в имитации окон, порталов при помощи зеркал, стекол, оконных рам. Таким образом можно создать иллюзию местонахождения в выбранном месте. Другим видом мимикрии в интерьере являются предметы мебели, сливающиеся с окружающим их пространством посредством идентичного паттерна или цвета. Как правило, такой прием используют для придания необычности и эпатажа внутреннего пространства зданий [8].



Рис. 1. Стулья-трансформеры



Рис. 2. Диван-трансформер

При зонировании квартиры для семьи крайне важен вопрос детских комнат. Обустройство детских в целом — продукт нового времени, столетиями до этого внимание ему не уделяли. Должны быть учтены пол, возраст детей, каждому из них необходимо свое личное приватное пространство, это значит, что для них нужно предусмотреть по комнате. Недопустимо, чтобы одну комнату делили разнополые или разновозрастные дети — это нарушает их личные границы, создается конфликт интересов, потребностей. Подбор мебельного оборудования для детской очень важен. Мебель-трансформер, например складные кровати, особенно актуальна для детской, она также служит интерактивным элементом. Двухъярусные кровати привлекательны для живущих в одной комнате однополых детей дошкольного и младшего школьного возраста и могут быть задействованы в играх. В таких кроватях могут быть интегрированы стеллажи, ящики. Во избежание захламления детской нужно продумать устройство зоны хранения [9]. Должно быть зонирование комнаты на игровую и рабочую зоны. Интерьер необходимо выполнить под личные предпочтения ребенка. Следует принять во внимание, что разным возрастным категориям присущи разные цветовые предпочтения. Детям старшего возраста свойственно выбирать более сдержанные оттенки, а малышам — яркие. Из этого следует компромиссное решение — интерьер нейтральных спокойных оттенков с яркими акцентами [9].

Сегодня в дизайне жилища многое изменилось, в частности в нем стало больше функциональности, современных технологий. Интерьер ориентируется на удовлетворение главных потребностей заказчика. Из-за пережитых глобальных изменений в социуме под влиянием мировых событий и инноваций возникли стили, отвечающие желаниям человека в современных реалиях. Основным современным трендом в выборе стиля жилого интерьера можно считать предпочтение минималистичных и функциональных интерьерных стилей (скандинавский, японский, хай-тек, брутализм, функционализм и пр.).

Стиль хай-тек

Задача стиля — создать удобный и практичный современный интерьер квартир для семей, отлично подходит и для одиночек или пар. В интерьере хай-тек пытаются добиться максимальной гибкости планировки. Здесь должны быть мобильные инженерные конструкции и оборудование, которые могли бы меняться в зависимости от предназначения помещения [7]. Этот стиль наиболее соответствует описанным выше аспектам современного интерьера. Главное здесь — функциональность, аскетизм, новейшие технологии, прямолинейность (рис. 3). Отдается предпочтение окраске стен, нежели обоям.

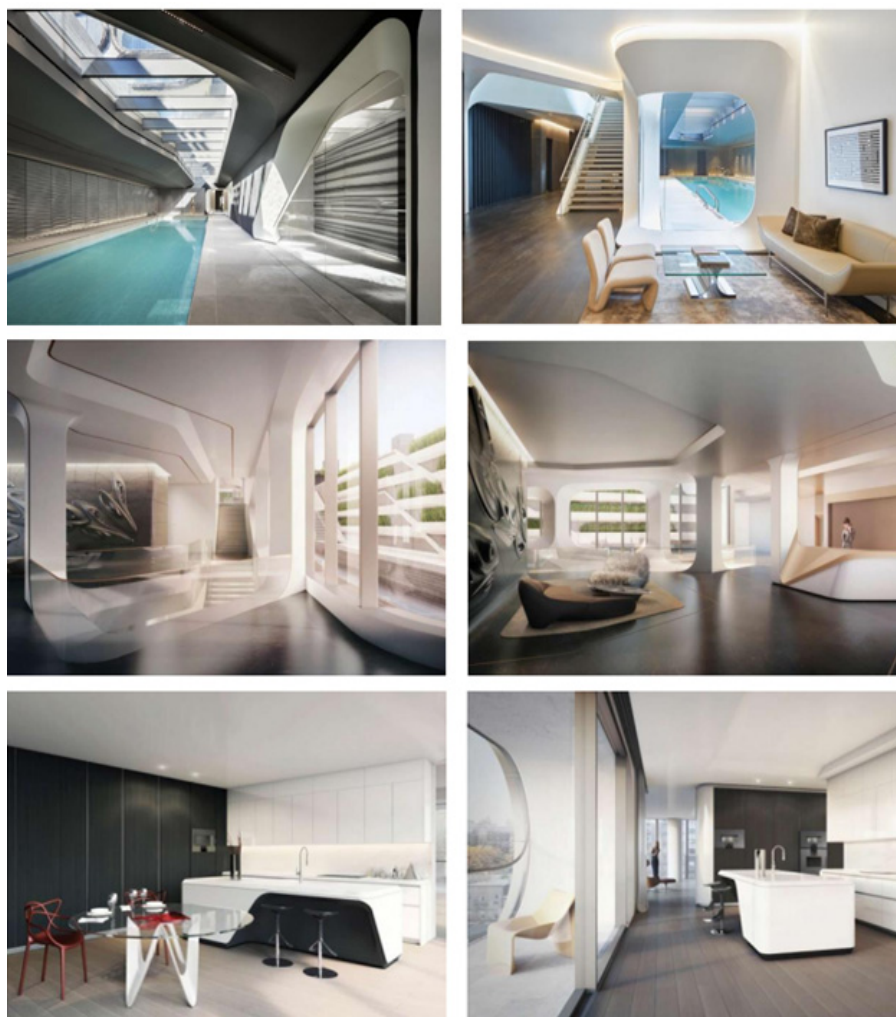


Рис. 3. Интерьеры жилого комплекса 520 West 28th, Заха Хадид

Очень важно, чтобы цвета были ненавязчивые, это создает ощущение легкости и приятную атмосферу. Наиболее актуальные цвета для хай-тека: различные оттенки белого, серого, бежевого. Белый — очень популярный и всегда актуальный цвет, создает ощущение чистоты и визуально увеличивает пространство. Белый — нейтральный цвет, в действительности имеющий различные оттенки, которые используются для создания нужного эффекта в восприятии интерьера. Более мягкие — для спален, детских, а классический — для менее приватных зон — кухонь, гостиных. Отлично подходит для ванных комнат и санузлов. Уходит в прошлое доминирование белого цвета вплоть до практически монотонной гаммы — это говорит о том, что люди отдают предпочтение насыщенным палитрам, создающим особое настроение, в отличие от белой строгости, холодности и обезличенности [10]. Оттенки серого способны выгодно подчеркнуть и выделить яркие акценты, а также поддержать холодную цветовую гамму. Серая мебель достаточно универсальна, данный цвет отлично подходит для напольных покрытий и стен.

Бежевый цвет богат на оттенки, сочетает в себе мягкость и нейтральность. В современном дизайне интерьера, например в стилях лофт и минимализм, чаще используется холодный тон бежевого.

Очень часто в качестве акцента используют черный цвет либо же очень небольшое количество красного, синего, желтого, которые создают контраст и оживляют интерьер. Черный — глубокий цвет, притягивает к себе внимание, сегодня все чаще используется в интерьере, тогда как раньше был непопулярен. Может применяться в кухнях и спальнях в мебели, декоре, текстиле, приборах, подходит для санузлов и ванных комнат. Черными могут быть также обои и покрытие пола. Однако ввиду особенностей восприятия и влияния черного цвета для детских он не может быть использован.

Из материалов в стиле хай-тек используются стекло, пластик, металл в комбинации с хромированными и блестящими поверхностями.

Экостиль

Развитие современного города связано с необходимостью создания оптимальной жилой среды при экономном потреблении энергетических, материальных и территориальных ресурсов [11]. Проблемы экологии и взаимодействия человека с природой особенно актуальны в наше время. Жилое пространство человека должно быть благоприятным, энергоэкономичным и безопасным, с комфортным микроклиматом, не оказывающим негативных воздействий на городскую и природную среду [12, 13]. Данным тенденциям наиболее соответствуют интерьеры в экостиле (рис. 4, 5).



Рис. 4. «Projeto Panambu», Fa.Z Arquitetura



Рис. 5. «Bails», Денвер, Annabode Interior Design

Помимо вышесказанного жителям мегаполисов зачастую не хватает природной эстетики. Экостиль возвращает человека к природе. Этот стиль стремится создать максимально спокойный и комфортный интерьер, используя

при этом как можно больше источников естественного освещения — большие окна, множество зеркал (см. рис. 5), выбор вместо массивной мебели для гостиных и столовых легкой садовой мебели, украшение жилых пространств комнатными растениями. Образовать дома зеленый оазис можно с помощью стабилизированного мха и крупных живых растений, а дополнить их композицию необычным образом — применяя тропические принты в декоре. Материалы для отделки имеют природное происхождение — дерево, камень, бамбук, бетон или пробка. Экостиль приветствует такие элементы декора, как плетеная или глиняная посуда, подставки из камня, текстиль изо льна, меркаля, рогожки.

Скандинавский стиль

Из-за своих особенностей скандинавский стиль часто связывают с минимализмом (рис. 6). Скандинавский дизайн, опираясь на принцип простоты и естественности, объединил две стороны жизни — практическую и эстетическую. Главные качества практической составляющей скандинавского стиля — функциональность, удобство, до мелочей продуманный быт. Эстетическое впечатление от интерьера в скандинавском стиле — ощущение легкости, свежести и обилия света. В этом стиле нет места вычурности и излишествам. Ключевые особенности скандинавского стиля: белые или светлого тона стены; мебель из бледного дерева, например березы, крашенная белой или бледной краской; дерево, ламинат или белая глянцевая половая доска; упрощенное оформление окон и струящиеся кисейные занавески, максимально пропускающие свет; ограниченная цветовая палитра — белый, его оттенки, дополненный ограниченным количеством оттенков красной вишни в качестве акцента; яркое освещение и много источников света; открытая планировка жилых помещений [14].



Рис. 6. Интерьер в скандинавском стиле «Oak street», Jen Samson Design

Минимализм

Стиль менее подходит для жилых интерьеров, чем скандинавский, однако свои любители у него есть, так как предполагает максимальное сокращение излишков, простоту и лаконичность (рис. 7). В современных реалиях, полных ежедневной суеты и шума, множество людей желают отдыхать от этого не только физически, но и морально, по возвращении домой. Минимализм — для тех, кто ценит максимальный простор, большое количество света, красоту в обыденности. Приветствуются многофункциональные предметы, позволяющие освободить пространство комнаты. В соответствии с особенностями стиля подбирается мебель, которой присущи простота оформления, строгость, лаконичность дизайна, полное или частичное отсутствие декора, пропорциональность, симметричность, тяготение к правильной геометрии форм (иногда нестандартность конфигурации), монохромная расцветка, мягкое сочетание двух оттенков, сдержанность палитры (иногда контрастность), гладкая, ровная поверхность; функциональность, полезность [15].

Одна из особенностей стиля в том, что он не предполагает зонирования квартиры по комнатам, а использует вместо этого разделители в виде элементов мебели, раздвижных перегородок. Это еще сильнее увеличивает ощущение пространства, свободы. В качестве отделки стен — однотонные обои или окрашивание. Материалы пола — ламинат, линолеум, кафель. Все должно быть простое и светлое. Часто палитра — игра на контрастах белого и черного, коричневого, бежевого, серого.

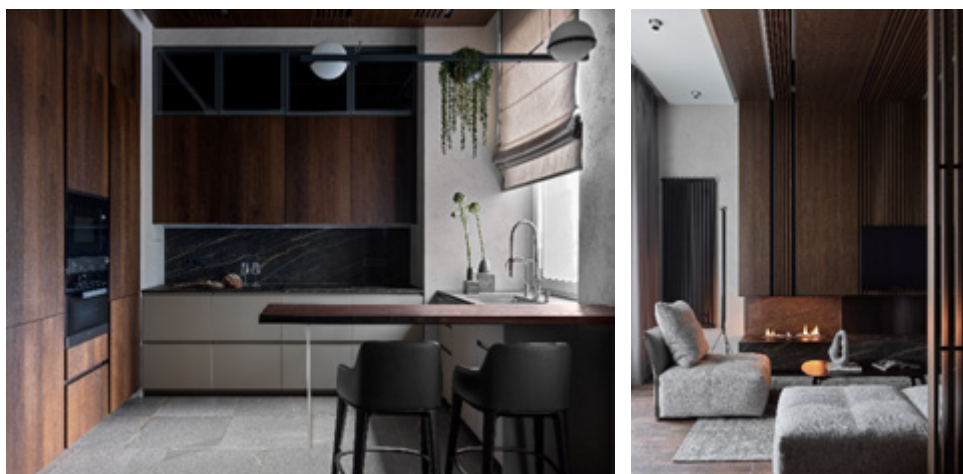


Рис. 7. Элегантные интерьеры апартаментов в Санкт-Петербурге в стиле экоминимализм, студия DE&DE

Важный элемент — встроенные гарнитуры. Минимализм при своей простоте предлагает использовать игру света, для чего монтируют многоуровневые конструкции потолка. Стиль используется в кухнях, гостиных, спальнях, кабинетах, однако не подходит для детских, т. к. ребенку для интеллектуального и психологического развития и комфорта в связи с особенностями возраста необходимо многообразие цветов, форм и фактур, чего не может позволить себе минимализм.

Однако стоит отметить, что переизбыток декора и нарочитая роскошь не совсем уходят в прошлое и проявляются в другой группе стилей, отличающейся большей экспрессией, индивидуальностью, уютом, многообразием цветовых решений. Эти стили имеют своих любителей, нередко к ним тянется молодежь, стремящаяся отойти от эстетики современных технологий и аскетизма к чему-то более традиционному.

Эклектичный интерьер

Искусственное смешение стилей, подчиненное общей идее (рис. 8). Популярное направление строится на грамотном отборе мебели, отделки, декора и придании внешне хаотичной обстановке смысла и упорядоченности [16]. Объединять можно совершенно непохожие друг на друга стили, предметы из разных эпох. Идеи эклектики унаследовал стиль «фьюжн», и в настоящее время эти два стиля настолько взаимосвязаны, что в широком понимании обозначают одно и то же.

Разнородные элементы в эклектичном интерьере объединяет, главным образом, цветовое решение. Для целостности рекомендуются природные оттенки с вариациями насыщенности, подходят как яркие, так и пастельные сочетания с плавными переходами. Для отделки стен используются узорчатые тканевые, металлизированные обои, плитка, деревянные панели, декоративная штукатурка, кирпичная кладка. Актуальны резьба, использование драпировок, например для украшения дверных и оконных проемов. В качестве материала напольного покрытия выбирают линолеум, натуральную древесину, керамогранит, ковролин, ламинат. Органично вписывается в эклектичный интерьер винтажная мебель. В композиции рисунка мебельных обивок зачастую задействованы круги, зигзаги, полосы. Особенностью стиля является разнообразие соседствующих друг с другом текстур, разнородность. Интерьер дополняют покрывалами, коврами, большим количеством подушек с экзотическими яркими принтами. Стиль предполагает использование различного декора.



Рис. 8. La Residencia, Испания, 2017, Matthew Williamson Design

В эклектике особое значение имеет ритм композиции, повтор элементов — это нужно для того, чтобы избежать ощущение хаоса. Для решения данной задачи существует 2 способа: выбрать одну форму и повсеместно внедрить ее (пример: круглые диванные подушки, обрамления картин, зеркал, круглая люстра, круглый журнальный столик); выбрать один яркий оттенок и размножить его (пример: цвет крупного предмета — дивана или кресла — повторить в абстрактной картине, кашпо, подушке, шторах, ковре) [9].

Неоклассический интерьер

Для данного стиля характерны симметричность, использование мебели в классическом стиле, декорирование под классические архитектурные элементы, например греческие колонны (рис. 9). Стены украшаются старинными картинками. Неоклассика предполагает большие окна, зеркала, т. к. комнатам необходимо много света и простора [17].



Рис. 9. Неоклассический интерьер в центре Санкт-Петербурга, MC Interior

Необходимо отметить основные тенденции в выборе отделочных материалов. Современный дизайн отдает предпочтение натуральным материалам. Это обусловлено проблемами создания жилья как экосистемы и стремлением человека быть ближе к природе, даже если он живет в мегаполисе. Особый акцент делается на тактильные ощущения, выбор падает на материалы, к которым приятно прикасаться. Это немаловажно в отношении комфорта человека, его психологического состояния, на чем сосредоточено внимание в современном дизайне интерьера. Натуральное дерево — актуальный материал ввиду тяготения современных людей ко всему экологичному. Ясень, орех и дуб — наиболее популярные породы. Помимо этого, широко используется древесина вишни, ольхи, зебрано, махагона, бука, клена. Дерево и его имитация используются не только для мебели, но и для отделки, декора, в т. ч. для стеновых панелей. Ввиду разнообразия оттенков этот материал может как визуально расширить пространство, если оттенки светлые, так и уменьшить его, если оттенки темные и насыщенные. Правильный выбор оттенка позволит скрыть недостатки габаритов помещения и сделать его уютнее.

Стекло набирает популярность из-за прозрачности и способности отражать, глянца. Оно может увеличить визуально пространство, добавить ощущение легкости, чистоты, аккуратности, что особенно актуально в минималистичных интерьерах. В жилищах с маленькой площадью комнат стекло может помочь создать ощущение простора и незагроможденности, часто в таких целях используют зеркала.

Ткань в отделке жилого интерьера должна быть многофункциональной, качественной и легкой. Предпочтение отдается натуральным «дышащим» материалам, это касается в особенности обивочных тканей, т. к. они используются в мебели, которая должна быть комфортной. Преимущественно отделочные ткани — хлопок, лен, саржа, флок, меланж. В обивке также используется фетр, это его самая популярная область применения, раскрывающая все достоинства материала. В отличие от войлока, сходного по технологии изготовления, фетр, помимо увлажнения, трения и других процессов войлокования, проходит дополнительную термическую обработку, которая повышает его теплоизоляционные качества и придает мягкость [18]. Современные дизайнеры экспериментируют с данным материалом — Селина Роуз из Великобритании проектирует стеновые панели и перегородки с использованием фетра (рис. 10), а студия FELT разрабатывает стеновые инсталляции, имитирующие кирпичную кладку и другие материалы (рис. 11). При этом возможно большое разнообразие вариантов на любой вкус и цвет, на ощупь материал вне зависимости от вида имитации будет мягким и приятным. Войлок и фетр очень пластичны, позволяют создавать потрясающие эффекты, воплощая любые дизайнерские идеи. Они подходят для изготовления абажуров, ковров.



Рис. 10. «Dot and Pixel Felt Screens», BBC, Selina Rose



Рис. 11. Стеновые панели из фетра для личной резиденции в Торонто, FELT Studio

Еще одним современным трендом в дизайне интерьера можно считать особое внимание проектировщиков к выбору освещения. Сегодня требуется что-то необычное, выразительное, ломающее штампы. Свет помогает выявить фактуру предметов, подчеркнуть достоинства материалов, разграничить планы, создать акцент на определенные зоны в помещении. При помощи декоративного освещения возможно значительно преобразить интерьер, задать ему необходимую атмосферу и настроение. В интерьере жилого помещения есть правила, позволяющие достичь зрительного комфорта. Для этого

выдерживают на определенном уровне много светотехнических параметров: оптимальную освещенность, гармоничное распределение яркости света по основным поверхностям помещения, правильную цветопередачу, тенеобразование. Следование этим правилам помогает одновременно решать функциональные и эстетические задачи в соответствии с назначением того или иного помещения [19]. Матовые фактуры требуют особо тщательного отношения к дозировке света, чтобы они не терялись и не сливались с общей композицией. Матовым фактурам с мелкой структурой поверхности свойственно отражать свет диффузно. Шероховатые поверхности выявляют путем освещения их скользящими пучками направленного света, который сильно подчеркнет рельеф и структуру. Если использовать рассеянный свет, рельефность сглаживается.

Благодаря современным технологиям проектировщик может до мельчайших подробностей спланировать то, какое впечатление должен получить заказчик от готового интерьера, в т. ч. от эффектов декоративного освещения.

Для выполнения данной задачи используется метод плоскостного светомоделирования фактур объектов и поверхностей при помощи компьютерной графики. Такой способ совмещает традиционные плоскостное и объемно-пространственное моделирование, делая процесс более точным, экономичным, легким и быстрым, что значительно повышает продуктивность работы над проектами.

По данным экспериментального исследования метода плоскостного светомоделирования, проведенного в 2013—2014 гг. кафедрой архитектурной физики МАРХИ, выявлено, что текущий уровень технологий может достаточно достоверно воспроизводить композицию кадра в плане аспектов света и яркости в ограниченном диапазоне, но слепящий эффект передать не способен. Таким образом, для полноценного моделирования условий искусственного освещения данного метода недостаточно [20]. Однако за последние 20 лет в целом возникло множество приемов и методов (например, системы светового проецирования), которые могут преобразовать или же разрушать тектонику зданий, комбинировать и создавать совершенно новое с помощью виртуальной реальности. Такие системы также называют 3D-маппинг. Также развитие получило использование изменчивых и интерактивных систем освещения.

Для современного проектирования освещения характерна тенденция к объединению медийного как воплощения временного и архитектурного пространств [19].

Проведенное исследование позволяет выделить основные современные подходы в дизайне интерьера. Сегодня заметно преобладание минималистических и функциональных стилей. Проектировщики выбирают рациональные схемы зонирования с изолированием гостевых и частных помещений, светлых и нейтральных цветовых решений. Предпочтение отдается многофункциональной и легко трансформируемой мебели. В приоритете натуральные отделочные материалы либо их качественная имитация. Трендом в дизайне жилого интерьера можно считать интерес к сложным и необычным системам освещения, которые позволяют создавать разные световые сценарии. Таким образом, используя перечисленные подходы в дизайне жилого интерьера, проектировщик создает комфортную и привлекательную жилую среду, отвечающую запросам современного потребителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А.* Умный город, архитектура и человек // Социология города. 2019. № 2. С. 6—13.
2. *Птичникова Г. А., Королева О. В., Антюфеев А. В.* Архитектура арендного жилья в информационную эпоху: новые требования / новые тренды // Социология города. 2018. № 4. С. 27—38.
3. *Berkun S.* How Design Makes the World. Berkun Media, LLC, 2020. 210 p.
4. *Griffin E.* Design Rules: The Insider's Guide to Becoming Your Own Decorator. Avery; Original edition, 2009. 272 p.
5. *Lewis A.* Made for Living: Collected Interiors for All Sorts of Styles. Clarkson Potter, 2020. 282 p.
6. *Yokota A.* Home Therapy: Interior Design for Increasing Happiness, Boosting Confidence, and Creating Calm: An Interior Design Book. Clarkson Potter, 2022. 304 p.
7. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В.* Дизайн интерьера. Оборудование в интерьере : учеб. пособие. Волгоград, 2018. 119 с.
8. *Матовников С. А., Мамышева С. А.* Приемы использования оптических иллюзий в интерьере // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 293—303.
9. *Матовников С. А., Борзенко С. Е., Картавцева Я. С.* Дизайнерские аспекты оптимизации среды жилой детской комнаты с учетом гендерного и количественного факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 157—164.
10. *O'Neill F.* Shades of White. CICO Books, 2021. 329 p.
11. *Черешнев И. В.* Экологические аспекты формирования малоэтажных жилых зданий для городской застройки повышенной плотности : учеб. пособие. 2-е изд., доп. СПб : Лань, 2022. 256 с.
12. *Черешнев И. В., Черешнева Н. В.* Применение методики проектирования экологичного жилища в системе архитектурно-художественного образования // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании: сб. материалов международной науч.-метод. конф. Новосибирск : Изд-во Новосибирского государственного университета архитектуры, дизайна и искусств, 2016. С 380—381
13. *Broome J.* The Green Self-Build Book: How to Design and Build Your Own Eco-Home. Sustainable Building. Green Books, 2007. 288 p.
14. *Uffelen C. V.* Nordic Style: Warm & Welcoming Scandinavian Interiors. Braun Publishing, 2019. 192 p.
15. *Seferian S. M.* Sustainable Minimalism: Embrace Zero Waste, Build Sustainability Habits That Last, and Become a Minimalist Without Sacrificing the Planet. Mango Media, 2021. 297 p.
16. *Матовникова Н. Г.* Стилистические особенности дизайна жилого интерьера : учеб. пособие. Волгоград, 2021, 163 с.
17. *Shaw T.* Soul of the Home: Designing with Antiques. ABRAMS, 2020. 272 p.
18. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Отделочные материалы и конструкции в дизайне интерьера : учеб. пособие. Волгоград, 2017. 114 с.
19. *Матовникова Н. Г., Матовников Г. С.* Влияние декоративного освещения интерьера на восприятие фактуры его объектов и поверхностей // Архитектурно-художественное образовательное пространство будущего : сб. материалов международной науч.-метод. конф.: Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2015. С. 182—184.
20. *Щепетков Н. И., Матовников Г. С.,* Исследование архитектурно-световой среды новых пешеходных улиц Москвы // Интернет-вестник ВолГАСУ. Серия «Политематическая». 2014. Вып. 4(35). С. 228—239.

© Вальковская М. Д., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., 2023

Поступила в редакцию
в ноябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Вальковская М. Д., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В. Использование современных подходов в дизайне жилых интерьеров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 209—221.

Об авторах:

Вальковская Мария Дмитриевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Матовникова Наталья Геннадьевна — канд. географ. наук, доц., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikova@yandex.ru

Самойленко Полина Васильевна — доц., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polasam@yandex.ru

Maria D. Valkovskaya, Natal'ya G. Matovnikova, Polina V. Samoylenko

Volgograd State Technical University

THE USAGE OF MODERN APPROACHES IN DESIGN RESIDENTIAL INTERIORS

The article discusses the problems of using modern approaches in the design of residential interiors. The issues of apartment layout, functional zoning, current styles in the interior, their features, as well as trends in materials and lighting are highlighted. The article provides examples of innovative approaches to solving the problem of creating a comfortable and attractive residential environment, both in domestic and foreign residential interior design.

Key words: interior design, hi-tech, materials, functional zoning, redevelopment, lighting.

For citation:

Valkovskaya M. D., Matovnikova N. G., Samoylenko P. V. [The usage of modern approaches in design residential interiors]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 209—221.

About authors:

Maria D. Valkovskaya — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Natal'ya G. Matovnikova — Candidate of Geographic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikova@yandex.ru

Polina V. Samoylenko — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polasam@yandex.ru

УДК 712.4

Н. Г. Матовникова, П. В. Самойленко, А. Д. Кокина

Волгоградский государственный технический университет

БЛАГОУСТРОЙСТВО ГОРОДСКИХ НАБЕРЕЖНЫХ КАК ВАЖНЫЙ АСПЕКТ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены проблемы благоустройства городских набережных как важного аспекта создания комфортной городской среды. Перечислены общие для заброшенных городских набережных недостатки, приведены рекомендации по благоустройству, разработанные в рамках приоритетной программы комплексного развития и благоустройства российских городов. Проведен предпроектный анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования городских набережных. Данные теоретические положения легли в основу разработанной авторами концепции благоустройства городской набережной им. В. Высоцкого в Кировском районе Волгограда. Дано краткое описание состояния данной заброшенной территории, отмечены ее недостатки и преимущества. Главная цель проекта — создание многофункциональной набережной, отвечающей современным тенденциям развития прибрежных территорий. Определены основные проектные задачи, описано стилистическое решение будущей набережной. Отмечена важность благоустройства городских набережных как территорий, обладающих высоким рекреационно-оздоровительным потенциалом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: комфортная городская среда, прибрежная территория, рекреационно-оздоровительный потенциал, безбарьерная среда, функциональное зонирование.

Введение

Современный город часто воспринимается жителями как враждебная и агрессивная для человека территория. Высокий уровень химического и акустического загрязнения, высокая плотность застройки, быстрый темп городской жизни — все эти и многие другие факторы высокой антропогенной нагрузки являются причиной хронического стресса городского жителя [1—3]. Архитекторы и дизайнеры, заинтересованные в развитии города как комфортного места для жизни, пытаются изменить сложившуюся ситуацию. Комфортная городская среда является необходимым условием роста качества жизни горожан, повышения привлекательности города для жителей и туристов, улучшения благосостояния города в целом. Проблема повышения качества и комфортности городской среды в городах России продолжает оставаться актуальной и злободневной для проектировщиков [4—6]. Одним из ее аспектов является вопрос благоустройства городских набережных как рекреационных территорий, важных для города. Особенно остро этот вопрос стоит в Волгограде, т. к. большая часть городских набережных, расположенных на протяженной береговой линии города, находится в заброшенном или аварийном состоянии. Можно сказать, что в Волгограде речь должна идти не просто о благоустройстве городских набережных, а о реновации и ревалоризации этих территорий, с обновлением или заменой ветхого благоустройства [6].

Сегодня дизайнеры стремятся переосмыслить значение городской прибрежной зоны, раскрыть ее потенциал, полноценно включить ее в городскую ткань. В перспективе это могут быть не только привлекательные рекреационные зоны, но и зоны комфортного пешеходного и велосипедного движения

вдоль всей береговой линии города. Таким образом, развитие заброшенных прибрежных территорий становится большим вкладом в процесс создания комфортной городской среды как открытого, безбарьерного и удобного для человека пространства.

Исследователи отмечают общие для всех заброшенных городских набережных недостатки: отсутствие развитой сети мощеных пешеходных дорожек; отсутствие благоустроенных подходов или спусков к воде; малоблагоустроенные места для отдыха и досуга; недостаток или отсутствие удобств в зонах отдыха у воды; отсутствие или нехватка мест для кратковременного отдыха, укрытий от непогоды или тенистых навесов; отсутствие или недостаток урн и общественных туалетов. В России реализуются приоритетные программы комплексного развития и благоустройства городов [7]. В целях содействия качественной реализации проектов и мероприятий разработаны основные методические рекомендации, в т. ч. рекомендации по благоустройству набережных:

1. Развитие сети дорог и пешеходных дорожек на территории набережных. Транспортная инфраструктура вблизи городских набережных должна обеспечивать безопасный пешеходный и велосипедный проезд и минимизировать его пересечение с автомобильным движением.

2. Создание возможностей для контакта отдыхающих с водой и оснащение набережной разнообразным сезонным и стационарным оборудованием для отдыха.

3. Обеспечение безбарьерного доступа к набережной для всех групп пользователей, минимизация препятствий на пути (заборы, густое озеленение, естественные заросли и т. п.).

4. Создание инфраструктуры, которую можно использовать в течение дня в любое время года, территория должна быть оборудована для проведения спортивных, культурно-просветительских мероприятий. Важно предусмотреть места для торговых точек и точек общепита.

5. Обеспечение микроклиматического комфорта на набережных, установка защитных сооружений от ветра, осадков, прямых солнечных лучей.

6. Установка элементов бытовой инфраструктуры: общественных туалетов и мусорных баков в районе входа на набережную, возле зон отдыха, в основных транзитных зонах [7]¹.

В ходе исследования проведен предпроектный анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования городских набережных. Один из примеров современного отечественного проектирования набережной находится в Казани — новая набережная озерной системы Кабан (рис. 1).

Эта парковая зона является одним из самых популярных общественных пространств города, где проводится множество мероприятий, танцев, спортивных тренировок и фестивалей. Основные функции территории — рекреационно-транзитные, здесь расположены прогулочные зоны и различные зоны отдыха. Для функционирования парка в ночное время разработан светотехнический проект. Схема общественного транспорта, включающая новую общественную локацию, делает набережную доступной для всех районов

¹ СП 398.1325800—2018. Набережные. Правила градостроительного проектирования. Мин-во строительства и ЖКХ РФ. М. : Статинформ, 2019. 31 с.

города. На благоустроенной территории высажено большое количество растений, установлены специальные фильтрационные установки, таким образом решены вопросы сохранения и приумножения озеленения, очистки воды вдоль берега. Новое парковое оборудование, архитектурно-дизайнерские решения различных парковых зон набережной, новые строительные материалы — все это позволило создать современную парковую среду для отдыха и развлечений у воды [8].

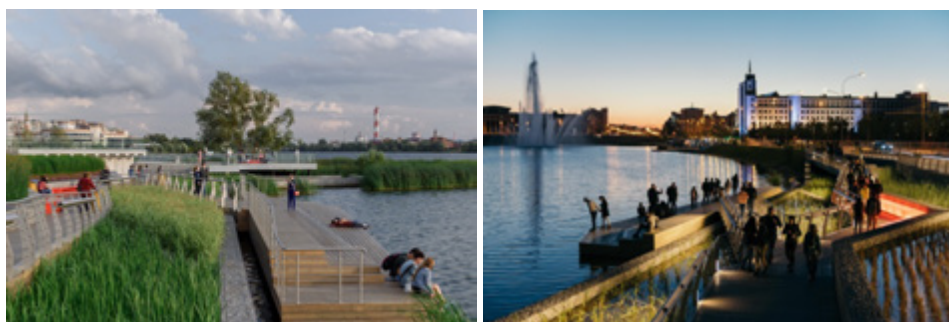


Рис. 1. Набережная системы озер Кабан, Казань

Еще одним примером современного благоустройства набережной является Крымская набережная в Москве (рис. 2). После реконструкции несколько лет назад Крымская набережная превратилась в променад и ландшафтный парк.



Рис. 2. Благоустройство Крымской набережной, Москва

Элементы оборудования набережной, павильоны, пешеходные и велосипедные дорожки, искусственные террасы в своем архитектурно-планировочном и образном решении повторяют силуэт волны либо имеют волнообразную форму. Этот дизайнерский прием во многих стилеобразующих элементах благоустройства набережной позволяет достичь единого образного строя парковой среды. Таким же образом оформляются скамейки, пешеходная и велосипедная зоны, расположенные на искусственном рельефе. Входная зона открывается деревянным вернисажем с волнообразной крышей. Деревянные скамейки и шезлонги, разделяющие газон, подчеркивают искусственный рельеф. Крымская набережная имеет разнообразное функциональное наполнение, благодаря чему является популярным местом городской рекреации.

Набережная реки Туры в Тюмени (рис. 3) является пешеходной зоной, состоит из 4 уровней, имеет протяженность в несколько километров. Вся набережная имеет большое количество мест для отдыха. На территории установлено множество скульптур, барельефов и фонтанов, набережная является визитной карточкой города с момента его основания. Это место располагает к спокойным прогулкам по берегу реки и отдыху. Тюменская набережная абсолютно уникальна с точки зрения инженерных и архитектурных решений, она выполняет важную функцию укрепления берега, но также является любимым местом прогулок горожан. Это единственная в России набережная, спроектированная в 4 уровнях.



Рис. 3. Благоустройство набережной Туры, Тюмень

Набережная Плайя де Понент, г. Бенидорм в Испании (рис. 4), расположена на берегу моря вдоль пляжа, выполнена в 2 уровнях и представляет собой извилистую в плане территорию длиной почти 1,5 км. Места для отдыха и небольшие участки растительности, обеспечивающие тень, расположены по всей ее длине с небольшими промежутками. Среди всех подобных сооружений набережная Бенидорма выделяется своими футуристическими формами. Функционирование променада ограничено территорией набережной. Верхний уровень набережной выложен разноцветной керамической плиткой, палитра которой содержит все цвета радуги. Нижний уровень выполнен из плитки. Благодаря сложной конфигурации верхнего уровня тень на нижнем уровне можно найти в любое время суток, что важно для солнечной Испании. Волнистая линия набережной задает тон, динамику, атмосферу радости и игры в этом пространстве [9].

Набережная Bahía Urbana, г. Сан-Хуан в Пуэрто-Рико (рис. 5), занимает большую часть прибрежной территории и заканчивается небольшой парковой локацией. Построенная на воде, эта парковая зона создает дополнительную рекреационную территорию, делая набережную более привлекательной для посещения. Локация создает ощущение безмятежного острова, где можно уединиться и отдохнуть, не покидая пределов города.

На набережной есть несколько зон тихого отдыха с укрытиями от яркого солнца, беседками, причалами, детскими площадками, рестораном и амфитеатром. Набережная является прекрасным местом для длительных прогулок и отдыха, кроме того, на ней есть много возможностей активно провести время, здесь часто проходят различные встречи, концерты, конкурсы и другие массовые мероприятия. Функции объекта — прогулочная, транзитная и рекреационная [10].



Рис. 4. Благоустройство набережной Platja de Ponent, Бенидорм



Рис. 5. Благоустройство набережной Bahía Urbana, Сан-Хуан

Центральная набережная Торонто, Канада (рис. 6), — здесь организовано множество различных зон отдыха, в т. ч. зоны для принятия солнечных ванн, велопрогулок, зона отдыха на воде с пунктом проката лодок. В целом набережная Торонто представляет собой сеть мостов, набережных и причалов протяженностью 3,5 км, которая соединяет несколько районов города. Функции набережной — рекреационная и транзитная. В планировке набережной четко прослеживается концепция «волны», которая создает ощущение праздника и вызывает различные эмоции и чувства у посетителей. В некоторых местах участки набережной, имеющие деревянную поверхность, приобретают волнообразную форму. Эти волнистые вставки используются детьми для игр, а взрослыми — для отдыха и принятия солнечных ванн. Причалы для маломерных судов расположены почти вплотную к местам пешеходного движения, но не конфликтуют с ними [11—13].

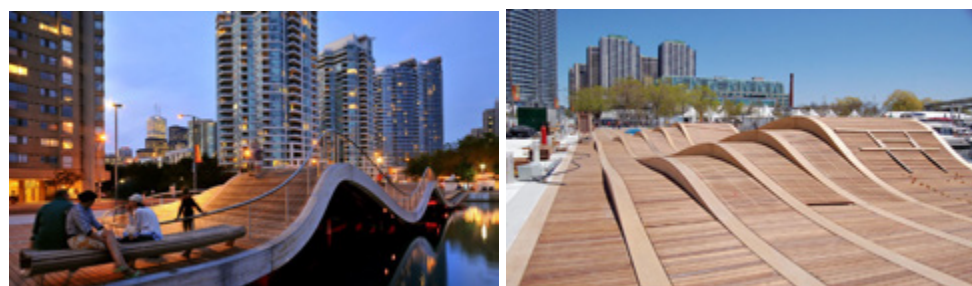


Рис. 6. Благоустройство Центральной набережной в Торонто

Набережная Hornsbergs Strandpark, Стокгольм, Швеция (рис. 7), используется жителями города как место, где можно устроить пикник, искупаться, позагорать и полюбоваться вечерним и утренним солнцем.



Рис. 7. Благоустройство набережной Hornsbergs Strandpark, Стокгольм

Это прибрежное пространство представляет собой небольшой парк, расположенный непосредственно у кромки воды. Набережная содержит несколько зон для спокойного отдыха, извилистые пешеходные дорожки, расположенные на разноуровневых террасах, 3 небольших пирса, зону для принятия солнечных ванн. Функции — прогулочная, рекреационно-оздоровительная. Пирсы интересны тем, что в конце их есть платформы, где установлены сиденья и столы. Таким образом причалы представляют собой беседки на воде. В центральной части набережной есть небольшой фудкорт. Волнообразная форма береговой линии на фоне регулярной городской застройки выглядит живописно и создает впечатление легкого движения, динамики и гармонии [14, 15].

Примеры недавно построенных городских набережных показывают различные возможности функционального наполнения этих территорий, важности их архитектурно-образного решения. Набережная хорошо просматривается с реки, является своеобразным лицом города, что важно для его репутации. Набережная, ее стиль может стать городским или районным брендом. В приведенных примерах видно, как хорошо продумана логистика пешеходных и веломаршрутов, грамотно спроектирована дорожно-тропиночная сеть территории в целом, что немаловажно для благоустройства. Эти городские набережные являются не только привлекательными рекреационными зонами, но и зонами комфортного пешеходного и велосипедного движения вдоль всей береговой линии. Современные городские набережные можно считать гибридными архитектурными объектами, в них гармонично сочетаются элементы зеленого строительства, разнообразные инженерные и архитектурные постройки (павильоны, навесы, пирсы, мостики, смотровые вышки и пр.). Эти территории отличаются такими характеристиками, как всепогодность и всепогодность. Здесь предусмотрена защита от непогоды, дорожно-тропиночная сеть и различные по функционалу площадки, имеющие современное мощение. Можно говорить об усложнении всего архитектурно-планировочного решения современной городской набережной, ее многофункциональности, гибридности, всепогодности и всепогодности как характерных особенностях. Таким образом, благоустроенные территории

городских набережных вносят большой вклад в процесс создания комфортной городской среды как открытого, безбарьерного и удобного для посетителей пространства.

Темой исследования стала ситуация с заброшенной городской набережной им. В. Высоцкого в Кировском районе Волгограда. В Кировском районе остро стоит проблема нехватки удобных мест для прогулок и комфортного отдыха горожан. В районе всего несколько территорий, где можно хорошо провести время, но у них есть свои недостатки:

1. Сквер с фонтаном перед кинотеатром «Авангард». Территория небольшая по площади, не предназначена для длительных прогулок. Все, что предлагается здесь, — отдых на скамейке перед сухим фонтаном. В жаркое время года площадь является популярным местом у взрослых и детей, т. к. это единственный действующий фонтан в округе, здесь слишком многолюдно и шумно.

2. Пешеходная зона на ул. Кирова. Имеет большую длину и подходит для длительных прогулок. Озеленение минимальное, есть скамейки, урны. Так как зона расположена между двумя дорогами, на ней всегда очень шумно.

3. Сквер «Доблесть и слава». Появился около 2 лет назад, туда был перенесен памятник М. С. Шумилу, который раньше располагался на площади перед кинотеатром «Авангард». Несмотря на ухоженный вид, площадь не пользуется большой популярностью у жителей района из-за отсутствия дополнительного благоустройства и других функциональных зон, кроме тихих зон отдыха.

4. Набережная им. В. Высоцкого. Набережная является центром притяжения большого количества людей, здесь расположены причал с действующей паромной переправой на о. Сарпинский, несанкционированный пляж, на котором в теплое время года собирается много людей, яхт-клуб, иногда проходит музыкальный фестиваль, есть места для шашлыка и рыбалки. Из-за большой длины набережную часто используют для пробежек.

Основными недостатками этой набережной являются: отсутствие минимальных удобств для посетителей, физически и морально устаревшее оборудование, неразвитость дорожно-тропиночной сети. То есть отсутствуют элементы благоустройства и архитектурно-планировочные решения, которые характерны для современной городской набережной, их наличие могло бы значительно увеличить возможности функционирования данной территории и ее посещаемость горожанами. Набережная имеет достаточно большую длину — 1758 м, расположена в благоприятном, тихом месте, обеспечивает прямой выход к реке. По топографическим картам (рис. 8) создана ситуационная схема исследуемой территории (рис. 9) площадью 29,3 га.

По мере благоустройства участка и развития его дорожно-тропиночной сети набережная может стать более доступной для посещения, а жители комплексов «Санаторный» и «Европейский парк» в районе н. п. Горная Поляна смогут пополнить число ее посетителей. Место, где располагается набережная, относительно тихое и уединенное, отделено городской застройкой от железной дороги. На территории есть заброшенная автодорога, которая, помимо Второй продольной магистрали, является единственной трассой, соединяющей Кировский и Советский районы, она имеет большое значение для города. На набережной проводились меры по укреплению береговой линии и

защите от наводнений. Она имеет небольшое возвышение, укрепленное бетонными плитами. Каждую весну уровень воды в Волге поднимается на несколько метров, из-за этого часть бетонных плит затопляется. В настоящее время максимальный подъем воды в реке составляет 8 м. По этой причине оборудование, размещаемое на плитах, должно быть мобильным и сезонным.



Рис. 8. Спутниковый снимок набережной

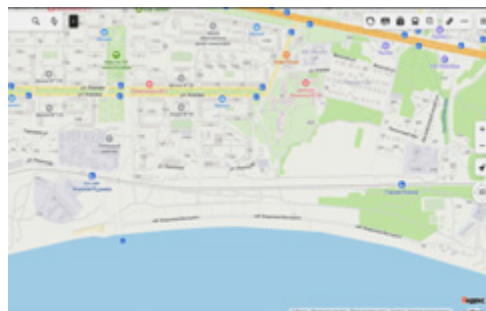


Рис. 9. Схема исследуемой территории

Линия фарватера меняется в зависимости от уровня воды в Волге, но условно проходит посередине реки. Скорость течения реки 1...1,5 м/с. В южной части набережной находится несанкционированный песчаный пляж. В связи со сбросом неочищенных сточных вод в Волгу здесь выявлено сильное превышение нормативов по содержанию микроорганизмов как источника инфекционных заболеваний. Так как летом температура воды поднимается до 24 °С, то формируется благоприятная среда для возникновения и распространения различных инфекций. По этой причине в зонах купания необходимо устанавливать плавучие бассейны с фильтрами и, возможно, системой подогрева, дезинфекции и озонирования, благодаря чему набережная станет популярным местом для посещения.

Растительность присутствует в северной части территории, особенно на верхней террасе. Представлены такие породы, как клен, тополь, вяз. Зеленые насаждения нуждаются в тщательной санитарии, замене старых деревьев. После удаления мертвых растений и улучшения тех, которые еще можно сохранить, останется очень небольшое количество взрослых деревьев. Вдоль набережной можно найти несколько крестов, на месте которых в будущем В. Корецкий (президент яхт-клуба «Парус» им. В. Высоцкого, создатель «плавучих храмов» и фестиваля памяти В. Высоцкого на Волге) планировал построить часовни. Он же установил на набережной два памятника: В. Высоцкому и А. Бересту. Памятник Высоцкому расположен в северной части набережной рядом с яхт-клубом, который не входит в проектную зону. Корабельная пристань также нуждается в ремонте. Для посетителей лестница на 2-й этаж уже много лет закрыта, а конструкция 1-го этажа и мостик на причал имеют заброшенный вид. В связи с неудовлетворительным состоянием необходимо запроектировать новый благоустроенный пирс, который будет сочетаться с общим стилистическим решением набережной. На сегодняшний день состояние дорог, ведущих к проектируемой территории, неудовлетворительное. Есть другие свидетельства заброшенности в этом

районе: полное отсутствие освещения, ландшафтного дизайна, благоустройства; большое количество засохших деревьев, мусора, оставленного прохожими; недостаточно комфортные условия для пешеходов и велосипедистов.

Преимуществами района являются: близость к жилой застройке, наличие маршрутов общественного транспорта, ведущих к набережной, пологий рельеф, выход к Волге. Хотя в прошлом активно поднимался вопрос о благоустройстве набережной Высоцкого, она по-прежнему находится в заброшенном состоянии, что негативно сказывается на близлежащих объектах. Неустроенность и неухоженность волжского берега делают территорию малопосещаемой, не создают комфортной парковой среды для взрослых и молодежи. Создание современной многофункциональной ландшафтной среды решит эти проблемы и создаст новый формат отдыха горожан. Современные строительные технологии позволяют решить вопрос организации мест купания на территории городских набережных с устройством плавучих бассейнов, которые могут использоваться круглый год. Они оснащены системой фильтрации, подогрева, дезинфекции и озонирования. В них используются различные фильтры: системы тонкой механической очистки песка, ультрафиолетовые установки, современные системы очистки из меди или серебра.

Разработана концепция благоустройства набережной им. В. Высоцкого в Кировском районе Волгограда (рис. 10). Она включает создание благоустроенной территории с различными парковыми функциями, ориентированными на разные возрастные и социальные группы Кировского района и города в целом.

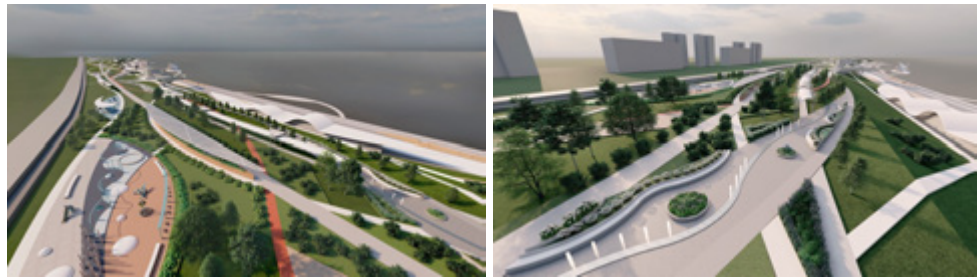


Рис. 10. Концепция благоустройства набережной им. В. Высоцкого в Кировском районе Волгограда

Проект реконструкции и благоустройства набережной содержит предложения по организации зон, предназначенных для проведения культурно-массовых мероприятий, спокойного и активного отдыха, воскресного досуга. Предложены решения по организации пешеходных и велосипедных прогулок и рациональному использованию береговой линии. На набережной будет сохранен и благоустроен открытый доступ к воде. При этом предполагается сохранение и использование существующего рельефа прибрежной зоны при помощи террасирования территории. Восстановленная набережная может стать одной из основных современных рекреационных зон не только района, но и всего города. Основная цель проекта — создание многофункционального объекта, отвечающего современным тенденциям развития прибрежных территорий. Набережная станет новым центром притяжения для культурного и спортивного времяпрепровождения, доступной зоной отдыха около воды и

местом, интересным для всех социальных и возрастных групп. В связи с этим были определены основные задачи проекта:

1. Определение состава основных функциональных задач набережной.
2. Создание схемы функционального зонирования.
3. Разработка композиции дорожно-тропиночной сети.
4. Определение стилового и образно-цветового решения всей набережной.
5. Разработка вариантов использования береговой линии с организацией водных объектов (пирсы, плавучие бассейны и т. д.).
6. Разработка малых архитектурных форм и оборудования для различных участков набережной.

При разработке композиции генплана и стиля за основу образной составляющей была взята тема реки, силуэты яхты, парусов, волн. Плавные линии, одновременно спокойные и динамичные, преобладающие в архитектурно-образной составляющей проектируемого пространства, вызывают у посетителей прямую ассоциацию с атмосферой курорта, где можно отдохнуть, расслабиться и получить приятные впечатления, не покидая территорию города. Основной цвет малых архитектурных форм (навесов, скамеек, павильонов) — белый. Он явно ассоциируется с легкостью, воздушностью, парусами яхты. Белый цвет успокаивает, освежает, несет позитивный настрой. Второстепенный цвет, присутствующий в деталях отделки — синий. Это небесный и водянистый цвет. В то же время это — символ безмятежности, спокойствия, стабильности, нежности. Сочетание белого и синего цветов связано с морской тематикой, создает благоприятное ощущение легкости, праздника, свежести, т. е. того, чего часто не хватает горожанам. Разработаны современные элементы оборудования и благоустройства набережной, включая павильоны, навесы, места отдыха, входную, выставочно-рекреационную и игровые зоны и зоны променада. Продуманы варианты благоустройства береговой линии со строительством новых пирсов, площадок для принятия солнечных ванн, плавучих бассейнов.

Выводы

Благоустройство городских набережных является важным аспектом создания комфортной городской среды, т. к. прибрежные территории обладают большим рекреационным и оздоровительным потенциалом. Создание благоустроенной парковой среды с возможностью отдыха у реки, контакта с водой, тихого и активного отдыха населения разных возрастов, проведения различных культурно-массовых, спортивно-оздоровительных мероприятий, новая эстетика и образно-дизайнерское решение парковой среды — все это разнообразит и обогащает рекреационную среду в городе, обеспечивает полноценный и здоровый отдых горожан. В перспективе прибрежные территории могут стать безбарьерной пешеходной и велосипедной транзитной зоной вдоль береговой линии города. Эти теоретические положения легли в основу разработанной авторами концепции благоустройства городской набережной им. В. Высоцкого в Кировском районе Волгограда. Проектируемая набережная может стать новой привлекательной рекреационной и оздоровительной территорией, возродит необходимую для района и города в целом парковую среду у реки, наполнит заброшенную городскую территорию новыми сценариями досуга и станет местом отдыха не только для местных жителей, но и для туристов.

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*. 2016. Vol. 2. Pp. 1966—1971.
3. *Матовникова Н. Г.* Биogeографические основы озеленения рекреационных территорий Волгоградской агломерации: автореф. дисс... канд. геогр. наук. Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. 25 с.
4. *Демидова Е. В.* Проблема реабилитации городских пространств // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2. С. 52—56.
5. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Проектирование современного парка как инновационного объекта // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАрХИ. Тезисы докладов международной науч.-практич. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. М., 2018. С. 391—393.
6. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Антипова И. А.* Реновация заброшенных общегородских и постиндустриальных территорий с помощью строительства парков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 204—215.
7. Благоустройство городских набережных. Методические рекомендации по реализации проектов повышения качества среды моногородов. М.: Стрелка, 2018.
8. *Кузнецова А.* Развитие и благоустройство набережных системы озера Кабан // *ArchDaily*. URL: <https://archi.ru/projects/russia/10482/razvitie-i-blagoustroistvo-naberezhnykh-sistemy-ozera-kaban>.
9. *Аджар А.* Набережная Поньенте в испанском Бенидорме // *Arch-sochi*. URL: <https://arch-sochi.ru/2013/05/naberezhnaya-ponente-v-ispanskom-benidorme>.
10. *Arnbruster J., Verkerk H., Lavergne H., Amy C.* Bahia Urbana: Overcoming Structural Engineering Challenges for Successful Port Redevelopment // *Proceedings of Ports '13: 13th Triennial International Conference*. San Juan, 2013. Pp. 51—64.
11. *Minner K.* Toronto Central Waterfront // *ArchDaily*. URL: <https://www.archdaily.com/111635/toronto-central-waterfront-west-8-and-dtwh> ISSN 0719-8884
12. *Horak M.* State rescaling in practice: urban governance reform in Toronto // *Urban Research & Practice*. 2013. Vol. 6. Iss. 3. Pp. 311—328.
13. *White J. T.* Pursuing design excellence: Urban design governance on Toronto's waterfront // *Progress in Planning*. 2016. Vol. 110. Pp. 1—41.
14. *Hornsbergs Strandpark* // *ArchDaily*. URL: <https://www.archdaily.com/301967/hornsbergs-strandpark-nyrens-arkitektkontor>.
15. *Arquitectura y Paisaje: Hornsbergs Strandpark por Nyréns Arkitektkontor* // *Plataforma Arquitectura*. Accedido. 2022. URL: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-329674/arquitectura-y-paisaje-hornsbergs-strandpark-por-nyrens-arkitektkontor>.

© Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Кокина А. Д., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Матовникова Н. Г., Самойленко П. В., Кокина А. Д. Благоустройство городских набережных как важный аспект создания комфортной городской среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 222—233.

Об авторах:

Матовникова Наталья Геннадьевна — канд. географ. наук, доц., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; matovnikova@yandex.ru

Самойленко Полина Васильевна — старший преподаватель каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polasam@yandex.ru

Кокина Алина Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kokina.all@mail.ru

Natal'ya G. Matovnikova, Polina V. Samoylenko, Alina D. Kokina

Volgograd State Technical University

IMPROVEMENT OF CITY EMBANKMENTS AS AN IMPORTANT ASPECT OF CREATING A COMFORTABLE URBAN ENVIRONMENT

The article deals with some problems of urban embankment improvement as an important aspect of creating a comfortable urban environment. Among other things, the shortcomings common to all abandoned city embankments are listed; recommendations for the improvement of embankments, developed as part of the priority program for the integrated development and improvement of Russian cities are studied. Also, in the course of the study, a pre-project analysis of domestic and foreign experience in designing various city embankments was carried out. These theoretical provisions formed the basis of the concept developed by the authors for the improvement of the city embankment. V. Vysotsky in the Kirovsky district of Volgograd. The article gives a brief description of the existing state of this abandoned territory, its disadvantages and advantages are noted. The main goal of the project is to create a multifunctional embankment that meets all modern trends in the development of coastal areas; in this regard, the main design tasks are defined, and the stylistic solution of the future embankment is described. In conclusion, the importance of improving the city's embankments, as areas with a high recreational and health potential, was noted.

К е y w o r d s: comfortable urban environment, coastal area, recreational and health potential, barrier-free environment, functional zoning.

For citation:

Matovnikova N. G., Samoylenko P. V., Kokina A. D. [Improvement of city embankments as an important aspect of creating a comfortable urban environment]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 222—233.

About authors:

Natal'ya G. Matovnikova — Candidate of Geographic Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; matovnikova@yandex.ru

Polina V. Samoylenko — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polasam@yandex.ru

Alina D. Kokina — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kokina.all@mail.ru

УДК 711.4.01

В. А. Русанов^а, Е. В. Казанова^б, Н. В. Казанова^в, Д. В. Чиликин^а

^а *Севастопольский государственный университет*

^б *Архитектурное бюро «ИП Русанов»*

^в *Волгоградский государственный технический университет*

СОХРАНЕНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ ГОРОДОВ ЮГА РОССИИ ПОСРЕДСТВОМ РАСШИРЕНИЯ ТИПОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Проведен анализ применения различных типологий как одного из инструментов сохранения и формирования качественной городской среды на примере городов юга России. Опираясь на практический и исследовательский опыт авторов, междисциплинарные взаимодействия и мониторинг существующих публикаций по рассматриваемой теме, обоснована необходимость расширения типологического ряда жилья для решения жилищной проблемы в России. Авторы продолжают исследовать проблемы жилищной отрасли и оценивать актуальность применения различных типологий многоквартирного жилья.

Ключевые слова: типология жилых зданий, жилищная проблема, архитектурное проектирование, региональная идентичность, многоквартирное строительство, секционизм.

Российская Федерация — самое большое по площади государство в мире, отличающееся положением в рекордном количестве климатических и часовых поясов и характеризующееся многонациональным и многоконфессиональным составом населения, что отражается в региональном, этническом и религиозном составе субъектов РФ. Но отражают ли социальную структуру общества, культуру и демографию существующие в массовом сегменте формы жилища и функциональная градостроительная организация большинства крупных российских городов? Соответствуют ли в большинстве случаев новые жилые кварталы их климатическим, социально-экономическим и культурным характеристикам? Способствуют ли применяемые принципы и методики проектирования устойчивому развитию городов и поселений, формированию здоровой городской среды и актуальным запросам общества на ее качество?

Секционная застройка спальных районов — устоявшийся образ жилых кварталов на территории России и стран СНГ (рис. 1), где развитие экспериментального и разнообразного жилья в прославившую российскую архитектуру «эпоху конструктивизма» было остановлено начавшейся в 1925 г. унификацией, стандартизацией отрасли жилищного строительства и введением понятия «экономичная типовая секция» [1]. Упомянутый этап развития государства, его политический и экономический строй оправдывают принятые решения. Понятно и следование им в период восстановления после Второй мировой войны и во времена хрущевской оттепели.

В истории России было несколько периодов реализации объектов экспериментального строительства жилого фонда различной типологии, отражающих региональную и социальную идентичность. Они могут являться фундаментом, примерами для формирования новой культуры восприятия жилья не как функции, а в качестве места для комфортной жизни и развития, дома в максимально широком понимании этого слова, закладываемым как связь в современной русской архитектурной школе.



Рис. 1. Унифицированная застройка в городах России: 1 — пр-т Генерала Острякова, Севастополь, 1981 г. (<https://sevastopol.su/>); 2 — пр-т Героев Сталинграда, Волгоград, 1975 г. (<https://volgograd.domclick.ru/>); 3 — ул. Наличная, Санкт-Петербург, 1969 г. (<http://domavspb.narod.ru/index/0-732>); 4 — ул. Пионерская, Северодвинск, 1975 г. (<https://severodvinsk.domclick.ru>)

Мировую известность имеет период расцвета русской архитектуры 1920-х гг., когда русский архитектурный авангард был частью «интернациональной архитектуры», для которой не существовало государственных границ. Удивляет тот факт, что редчайшие объекты экспериментального жилья различных, в т. ч. смешанных, типологий, спроектированные в 1970—1980-х гг., явно вдохновленные архитектурным наследием 1920-х гг., но адаптированные к своему времени, уже менее популярны ввиду многих причин. Почти все из этих объектов являлись революционными для своего времени, включались в иностранные учебники и аналитические пособия по типологиям жилых зданий как эффективные и уникальные [2] (рис. 2).

Отмеченное ранее инерционное и иррациональное наследие концепций развития жилищного строительства СССР и десятилетия безраздельной монополии ДСК не дают возможности полноценно, на равных развиваться различным типологиям многоквартирного жилья ни в практике, ни в исследованиях [3].

Подобный период применения унифицированного типового строительства был в истории практически каждой активно развивающейся или восстанавливающейся страны мира в XX в., по сей день «большинство городов мира покрыты бетонными рубцами утилитарных зданий без национального колорита» [4, с. 13]. Но в отличие от СССР типовое строительство применялось в других странах не так массово. Маргинализация типовых спальных и социальных кварталов, сложность в управлении и формировании экономически эффективных и культурно устойчивых районов города привели к исследованиям в сфере

градостроительства и архитектуры, возникновению теорий урбанизма, устойчивого развития, к выявлению необходимых параметров в структуре города для создания устойчивой и комфортной среды [5, 6]. Реализованные за последние 3 десятилетия объекты, соответствующие современным концепциям проектирования, отражают культурные и климатические особенности в формировании жилых районов массового жилья и лишены тех недостатков, которые присущи типовому строительству [7, 8]. Проблема с социальной устойчивостью и идентичностью возводимого жилья решена в мировой практике не повсеместно, так же как в нашей стране. Ошибки, сделанные в других странах преимущественно в 1950—1960-х гг., местами повторяются и сегодня — возводятся такие же многоквартирные, как и те, что уже разрушаются. Некоторые из них ввиду высотности, по технологиям и озеленению дворов даже считаются элитным жильем, при этом там есть все те же социальные проблемы. Но в отличие от России, имеющей более долгую историю стандартизации, такие проблемы носят менее массовый характер, с годами прослеживается динамика к росту доли жилья, созданного с учетом местного колорита, совокупности природных факторов и человеческих потребностей.

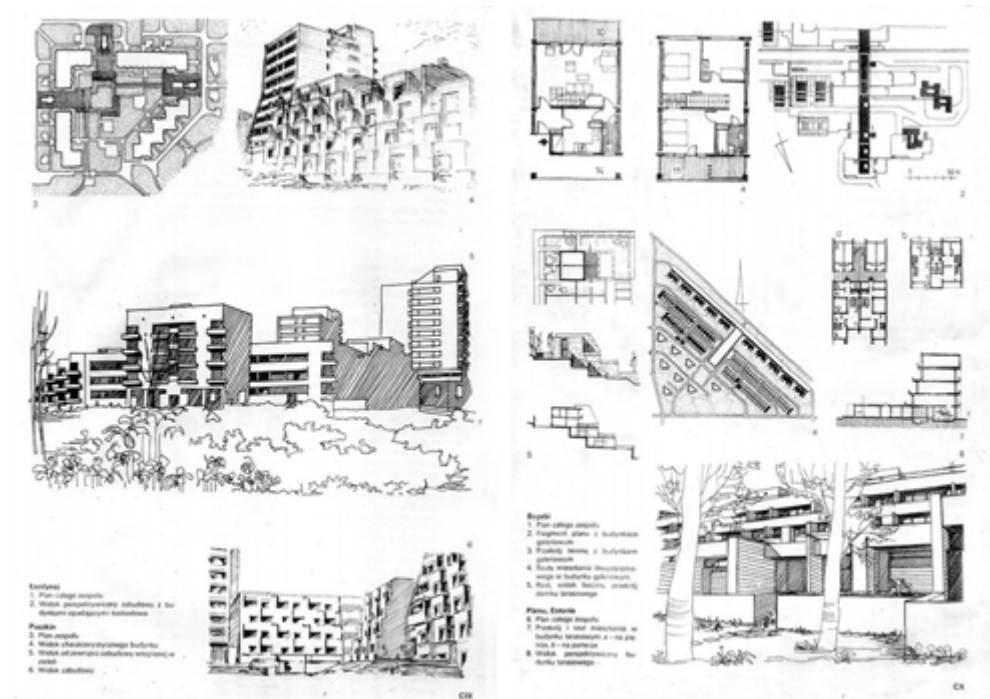


Рис. 2. Жилые комплексы в СССР: г. Пушкин, комплекс многоквартирных домов (1977 г.); многоквартирные жилые комплексы в Тбилиси, Грузия (1974 г.) и г. Пярну, Эстония (1976 г.) [2]

В России же, несмотря на все доступные знания и технологии, более чем вековая острая проблема обеспеченности населения жильем продолжает решаться методами, принятыми в начале XX в. Методами и стандартами, приводящими к обезличиванию российских городов (рис. 3). Во главу угла поставлена рационализация, краткосрочные программы. Не проводится анализ

влияния такого жилья на образ жизни и поведение людей в долгосрочной перспективе [9]. Важно учитывать соответствие заложенных в проект решений требованиям к качеству жизни в долгосрочной перспективе, на несколько десятилетий вперед [10].



Рис. 3. Жилые дома уровня «стандарт», сданные в эксплуатацию в 2022 г.: 1 — Волгоград, 2 — Севастополь, 3 — Архангельск, 4 — Краснодар

В 1960 г. В. П. Мелик-Парсаданов, в то время главный архитектор Крыма, В. М. Артюхов, заместитель главного архитектора г. Севастополя, А. Сошников и В. Мошкович, инженеры по делам строительства и архитектуры Севастопольского горисполкома, написали перед Всесоюзным совещанием по градостроительству в «Рабочую газету» статью под названием: «Типовой проект — не икона». Статья не была опубликована и сохранилась в виде печатной копии с правками в архиве Севастополя, как рабочий материал доклада, который тоже не состоялся из-за противоречия линии Всесоюзного совещания: «К числу нынешних недостатков типовых проектов следует отнести их обезличенность. В самом деле, квартиры и секции планируются без всякого учета климатических и бытовых условий того или иного района. Планировка их для Ялты или Севастополя ничем не отличается от Минска и Харькова. Между тем в Севастополе, например, как и в других южных приморских городах, большое распространение имели такие специфические устройства южного типа, как лоджии, террасы, веранды. В условиях нашего климата — это вовсе не излишество, как считают некоторые проектировщики. Это необходимые элементы быта, создающие удобства для жильцов. А удобство — не излишество. Лоджии, террасы и веранды не только предохраняют летом жилые комнаты от перегрева, но и улучшают связь квартиры с природой. Большую часть года она используется как дополнительная жилая площадь, куда свободно проникает морской воздух» [11].

Сравнивая руины городских кварталов античных городов Херсонеса в Севастополе и Танаиса в Ростовской области, раскопки городов Золотой Орды в Волгоградской области, везде мы увидим своеобразные маркеры, которые будут соответствовать основным характеристикам интуитивно возникающего образа южной архитектуры, обусловленного, в первую очередь, климатическими особенностями региона, — балконы, теневые ниши, террасы, курдонеры и внутренние дворы. Архитектурные элементы, отражающие образ жизни людей в южном климате, создающие необходимые условия для их удобной и комфортной жизни, но не создающие среду в их самостоятельном применении [12, 13]. Современное прочтение южной архитектуры — это совокупность характерных архитектурно-планировочных элементов, многообразии видов жилья, общественные пространства, внедренные в жилые кварталы, private территории, преимущественно местные материалы и соответствующий югу колористический код (рис. 4).



Рис. 4. Жилые дома уровня «стандарт» в южных странах, мировая практика: 1 — Измир, Турция, террасированные дома, использование рельефа, массовая застройка, M arti D. Mimarlık, 2017 г.; 2 — Авейру, Португалия, жилой дом с внутренним двором и бассейном для жильцов, проект в рамках реновации производственной территории, бюро RVdM Arquitectos, 2021 г.; 3 — Лиссабон, Португалия, реконструкция нежилого здания в жилое, дом с частным внутренним двором, доступным только для жильцов, Бюро arquitetura e design Ida, Ана Коста, 2020 г.; 4 — Пальма, Испания, многофункциональная (mixed use) архитектура: жилой дом, розничная торговля, общественная территория, реконструкция в историческом квартале, бюро MVRDV, 2022 г. (<https://www.archdaily.com>)

С 2019 г. в России реализуются национальные проекты, нацеленные на комплексное развитие общества и обеспечение высоких стандартов жизни на всей территории страны, в их числе — «Жилье и городская среда»¹. Проект

¹ Национальный проект «Жилье и городская среда». URL: <https://xn--h1alcedd.xn--d1aqf.xn--p1ai/instructions/natsionalnyy-proekt-zhile-i-gorodskaya-sreda>.

направлен на развитие и улучшение качества жилищного строительства во всех регионах России, уменьшение рисков, связанных с инвестированием в строительство жилья, упрощение процедур согласования для застройщиков, более эффективное использование государственных земель, а также реализацию государственных программ в жилищной сфере.

При выполнении федерального проекта следовало бы ожидать, что стремление к качеству жилищного строительства вызовет внимание не только к фасадам зданий и благоустройству, но к и более фундаментальной проблеме — типологическому многообразию жилья, его исследованию, популяризации и расширению. Как показывает практика, применение различных типологий, свободное владение архитектором методиками формирования жилья различных типологий расширяют границы проектирования и дают большую свободу в построении комфортной, разнообразной, здоровой и экономически эффективной среды, особенно в районах со сложными климатическими условиями и рельефом.

В рамках реализации программы «Формирование комфортной городской среды», входящей в состав масштабного проекта «Жилье и городская среда», проведено исследование «Проблемы формирования комфортной городской среды». Это социально-психологическое исследование, подготовленное компанией РТДА для конференции «Комфортный город — 2019» [14]. В конце исследования в виде выводов дан перечень рекомендаций, общих для всей страны, формирующих здоровую городскую среду. В их числе есть и рекомендации, касающиеся архитектуры и градостроительства:

- нежилые 1-е этажи, насыщенные сервисными предприятиями, с высокими витринными окнами (улица и 1-й этаж открыты для «просмотра» изнутри и снаружи);
- разнообразные и интересные фасады зданий, формирующих городскую улицу;
- благоустроенные пространства улиц и площадей;
- жилые помещения в городе должны обладать высокой степенью вариативности: от небольших апартаментов временного пребывания до коттеджей с участками, чтобы обеспечивать разнообразные форматы проживания в городе;
- в городе могут и должны присутствовать кварталы с разным уровнем урбанизации — плотности застройки и высоты зданий. При этом следует отметить, что средняя этажность зданий (7—9 этажей), как правило, предпочтительна для большинства жителей города.

Если перевести приведенные рекомендации на язык архитектуры и сократить их до перечня типологий, при помощи которых их можно реализовать с максимальными технико-экономическими показателями, становится очевидно, что необходимо применять все известные архитектурной науке типологии жилища: секционная, блокированная, галерейная, коридорная, террасная, городская вилла и их сочетания. Социальная и экономическая эффективность применения на практике различных типологий жилья доказана мировым опытом, уже сложно встретить современную застройку с моно-типологией [15, 16], а редкие проекты, реализованные на территории России,

также доказывают свою состоятельность и в российских экономических условиях [17, 18]. Именно совокупность разнообразных типов жилья с их возможностями — необходимый и неотъемлемый инструмент формирования многообразной архитектуры жилой среды, удовлетворяющей всем современным требованиям к качеству жилья, действующим нормативам, социально-экономическому состоянию общества, введенным в 2022 г. параметрам «зеленой архитектуры», а также учитывающей стремления следовать парадигмам устойчивого развития. К сожалению, пока что это мало отражено в российской практике.

Рост конкуренции городов за жителей, инвесторов, гостей города, особенно в условиях необходимости развития внутреннего туризма, остро поставил вопрос о необходимости качественного брендинга мест [19—21], и здесь с точки зрения архитектуры, градостроительства фундаментом для принятия решений является не бренд-код города со стандартными колористическими и стилистическими рекомендациями, а образ жизни людей.

В развитии быстрорастущих южных городов в настоящее время существуют две ловушки, которые приносят свои негативные плоды, нивелируя характерные особенности региона, стирая не только климатическую и социально-культурную идентичность, но и временную:

1. Однообразие и ограниченность применяемого типологического ряда жилья, по сути, все тот же столетний, но модернизированный «строительный конвейер» (см. рис. 2).

2. Подражание архитектурным стилям ушедших эпох.

Силу влияния парадигм советской индустрии домостроения XX столетия можно охарактеризовать словами Ф. Ницше: «Человек... должен всячески упираться против громадной, все увеличивающейся тяжести прошлого; последняя или пригибает его вниз, или отклоняет его в сторону, она затрудняет его движение, как невидимая и темная ноша» [22]. Строительная отрасль хотя и отошла от массового и повсеместного применения типовых проектов в их чистом виде, до сих пор опирается на ограниченные подходы к проектированию, чем все еще давит «тяжестью прошлого», навязывая людям определенный «стандартный» образ жизни, равный и для северных районов, и для средней полосы, и для юга России. Вековой «секцизм», поразивший отрасль многоквартирного домостроения, с его отрицанием экономической эффективности, художественной выразительности и планировочных возможностей других типологий ограничивает рынок. Это выражается в отсутствии возможности расширения вариативности предлагаемых типов жилья, в показателях эффективности застройки, особенно важных для территорий со сложным рельефом, восстанавливаемых постиндустриальных территорий и в рамках квартальных реконструкций. Использование лишь одной типологии накладывает ограничения на создание узнаваемого облика, соответствующего уникальному климату и образу жизни на юге России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зальцман А. М. Классификация жилых домов // Академия архитектуры СССР. Сообщения института массовых сооружений. Вып. 2. М., 1943. 23 с.
2. Adamczewska-Wejchert H. Kształtowanie Zespołów Mieszkaniowych. Warszawa : Arkady, 1985. 280 с.

3. *Русанов В. А., Казанова Н. В., Казанова Е. В.* Решение социальной проблемы первого жилья — расширение типологий в строительстве // *Primo Aspectu*. 2022. № 1(49). С. 32—39.
4. *Кидуэлл П.* Психология города. Как быть счастливым в мегаполисе. М. : МИФ, 2018. 288 с.
5. *Растяпина О. А.* Определение показателей оценки благоустройства дворового пространства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 287—296.
6. *Stamso M.-A.* Housing and Welfare Policy — Changing relations? A Cross-National Comparison // *Housing, Theory and Society*. 2010. Vol. 1. No. 27. Pp. 64—75/
7. *Schneider F., Gieselmann R.* Second. Floor plan manual housing. Basil : Birkhäuser GmbH, 1997. 296 p.
8. *Heckmann O., Schneider F.* Floor plan manual housing. Basil : Birkhäuser GmbH, 2011. 336 p.
9. *Русанов В. А., Красильникова Э. Э., Казанова Е. В.* Социально-экономические и правовые аспекты расширения типологического разнообразия современного жилья // *Экономика и управление: теория и практика*. 2021. Т. 7. № 4. С. 56—63.
10. *Typology+: Innovative Residential Architecture* / P. Ebner, E. Herrmann, R. Röllbacher, M. Kuntscher, U. Wietzorrek. Basel: Birkhäuser, 2009. 432 p.
11. *Васильев Н. Ю., Овсянникова Е. Б.* Архитектор В. М. Артюхов и его роль в формировании послевоенного облика Севастополя // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. № 2(47). С. 28—42.
12. *Антюфеев А. В., Красильникова Э. Э., Русанов В. А., Кузина Л. А.* Изучение научно-практических методов и приемов в проектировании гибких и устойчивых жилых образований (интеграция Волгоградской архитектурной школы в международный образовательный процесс ОIКOnet) // *Инновации в архитектурном образовании: материалы международной науч.-методич. конф.*. Баку: Изд-во АЗАСУ, 2014. С. 39—41.
13. *Pfeifer G., Braunek P.* Town houses. Typology of housing. Birkhäuser, 2009. 128 p.
14. *Kaminskiy K.* Проблемы формирования комфортной городской среды. Социально-психологическое исследование компании РТДА для конф. «Комфортный Город — 2019». URL: https://prorus.ru/_manager/files/5ea/a67c4c924b/31-03-20-%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82-%D0%9A%D0%93-%D1%80%D0%B5%D0%B4.pdf.
15. *Todorovic M.* New type of residential building configuration // *Facta universitatis — series Architecture and Civil Engineering*. 2016. Vol. 14. Iss. 1. Pp. 47—58.
16. *Kjeldsen M.* Industrialized housing in Denmark 1965—76. Copenhagen : Byggecentrum, 1976. 139 p.
17. *Красильникова Э. Э., Русанов В. А., Кузина Л. А.* Современные тенденции формирования гибких и устойчивых жилых образований // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 275—283.
18. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А.* Синергетический подход в теории развития города // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 195—210.
19. *Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В.* Малоэтажное строительство: особенности и проблемы развития // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2014. Вып. 38(57). С. 217—227.
20. *Греф Г.* Двенадцать важнейших для России урбанистических трендов : тезисы выступления // *Moscow Urban Forum*. М., 2011. 32 с.
21. *Линч К.* Образ города М. : Стройиздат, 1982. 328 с.
22. *Ницше Ф.* О пользе и вреде истории для жизни. В 2 т. Т. 1. М., 1990. С. 161.

© *Русанов В. А., Казанова Е. В., Казанова Н. В., Чиликин Д. В.*, 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Русанов В. А., Казанова Е. В., Казанова Н. В., Чиликин Д. В. Сохранение идентичности городов юга России посредством расширения типологического ряда многоквартирных жилых зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 234—242.

Об авторах:

Русанов Владимир Александрович — проф. каф. архитектуры и дизайна, Севастопольский государственный университет (СевГУ). Российская Федерация, 299015, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7; buro2m@mail.ru

Казанова Елена Витальевна — ландшафтный архитектор, экономист, Архитектурное бюро «ИП Русанов». Российская Федерация, г. Волгоград. E-mail: Lcazanowa@mail.ru

Казанова Наталия Витальевна — канд. филос. наук, доц. каф. философии и права, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28; nvk-work@yandex.ru

Чиликин Дмитрий Викторович — доц. каф. архитектуры и дизайна, Севастопольский государственный университет (СевГУ). Российская Федерация, 299015, г. Севастополь, Курчатова, 7; chilikind@mail.ru

Vladimir A. Rusanov^a, Elena V. Casanova^b, Natalya V. Kazanova^c, Dmitry V. Chilikin^a

^a *Sevastopol State University*

^b *Architectural Bureau "IP Rusanov V. A.,"*

^c *Volgograd State Technical University*

PRESERVING THE IDENTITY OF SOUTHERN RUSSIAN CITIES THROUGH INCREASING THE VARIETY OF APARTMENT BUILDING TYPES

The article analyzes the use of various typologies as one of the integral tools for maintaining the formation of a high-quality urban environment on the example of cities in the South of Russia. Based on their own practical and research experience, interdisciplinary interaction and monitoring of existing publications on the topic under consideration — the need to expand the typological range of housing to solve the housing problem in Russia — the authors of the article continue to explore the problems of the housing industry and evaluate the relevance of using various typologies multi-family housing.

Key words: typology of residential buildings, housing problem, architectural design, regional identity, apartment buildings, seccism.

For citation:

Rusanov V. A., Casanova E. V., Kazanova N. V., Chilikin D. V. [Preserving the identity of southern Russian cities through increasing the variety of apartment building types]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 234—242.

About authors:

Vladimir A. Rusanov — Professor of Architecture and Design Department, Sevastopol State University, 7, Kurchatova st., Sevastopol, 299015, Russian Federation; buro2m@mail.ru

Elena V. Casanova — Landscape architect, economist, Architectural Bureau "IP Rusanov V. A.", Volgograd, Russian Federation; Lcazanowa@mail.ru

Natalya V. Kazanova — Candidate of Philosophy, Volgograd State Technical University (VSTU), 28, Lenine Ave., Volgograd, Russian Federation; nvk-work@yandex.ru

Dmitry V. Chilikin — Docent of Architecture and Design Department, Sevastopol State University, 7, Kurchatova st., Sevastopol, 299015, Russian Federation; chilikind@mail.ru

УДК 711

Е. Л. Беляева

ООО «Институт геобиосферных исследований»

ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ИСТОРИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Статья посвящена методике учета социальных и социологических аспектов благоустройства природных и исторических территорий городов как важному направлению междисциплинарных социологических, градостроительных, природоохранных, историко-культурных и историко-ландшафтных исследований. Проекты благоустройства в зависимости от назначения, вида, площади, объекта, его местоположения и уровня благоустройства затрагивают интересы социальных групп в широком диапазоне — от относительно небольших до многочисленных рекреаций. Социальная значимость проекта объекта благоустройства определяется не только посетительскими нагрузками, историко-культурной и природной ценностью территории благоустройства и ее окружения, но и утвержденным режимом градостроительного использования. На основе анализа авторского опыта проектирования, экспертизы, общественных слушаний и реализации проектов благоустройства доказана необходимость разработки специальной методики социально-экологической оценки проектов, которая должна учитывать особенности объектов благоустройства. Приведены примеры, подтверждающие важность изучения вопросов социальной и социологической оценки таких проектов. Систематизированы наиболее значимые факторы для социально-экологической оценки территорий благоустройства, включая территории особого вида. Предложена модель, отображающая влияние различных факторов на социально-экологическую оценку проектов благоустройства, расположенных на природно-исторических территориях.

Примером проекта, затрагивающего интересы большого количества жителей, представлен проект благоустройства на территории с 4-м режимом градостроительной деятельности ООПТ регионального значения «ППП Москворецкий» — пляжа в Строгинской пойме. Обоснована целесообразность социологического сопровождения таких проектов от этапа предпроектных проработок до реализации и оценки результатов. Проанализированы научные и практические задачи цифровизации градостроительного проектирования, что затрагивает вопросы цифровизации проектирования благоустройства, которое сегодня использует инструментарий и программное обеспечение разделов СПОЗУ из сферы объектного проектирования. Рассмотрены проблемы совершенствования методики проектирования благоустройства природно-исторических территорий с учетом их статуса и режима в целях обеспечения сохранности природного и культурного наследия.

Ключевые слова: благоустройство природно-исторических территорий, учет статуса проектирования, социально-экологическая оценка и сопровождение проектов благоустройства, цифровизация проектирования и режимов градостроительного использования, сохранение и обеспечение сохранности природного и культурного наследия, методика проектирования и социально-экологической оценки проекта.

Проблематика создания методики социально-экологической оценки проектов благоустройства исторических и природных территорий

В качестве примера некомплексного или узкоотраслевого подхода к проектированию благоустройства территорий городов, не учитывающего градостроительные, историко-культурные, природоохранные и социальные условия территорий благоустройства, можно привести методики проектирования, разрабатываемые уже около 10 лет компанией «Стрелка», в т. ч. так называемый «Национальный стандарт благоустройства». Как представляется, методика «Стрелки» основана на идеологии «глобализации» и известных зарубежных подходах, пришедших к нам из «урбанистики», но она разработана в отрыве от Градостроительного кодекса России, законов РФ «Об охране культурного наследия» и «Охране окружающей среды», от традиционной градостроительной

классификации и градостроительного нормирования (СНИП, СП, региональные градостроительные нормы, в т. ч. МГСН 1-01—99 и МГСН 1-02—02). «Национальный стандарт» действительно разрабатывался для системы муниципального управления и ЖКХ, но понятийный аппарат, отечественное законодательство, базовые принципы градостроительного регулирования как основы благоустройства, включая инструменты градостроительных регламентов и режимов использования территории, функционально-планировочной организации, градостроительного, ландшафтного зонирования, озеленения, развития социальной, транспортной, инженерной инфраструктуры и градостроительного нормирования в нем недостаточно отражены.

Авторам от ЖКХ или «сферы управления народным хозяйством», по-видимому, следовало учитывать именно градостроительные предпосылки благоустройства, тогда отраслевой документ мог выглядеть как междисциплинарный и работал бы он по-другому. Если же речь идет о текущем «эксплуатационном» благоустройстве, выполняемом на 3...5 лет, не стоит называть его «национальным стандартом», достаточно «отраслевым», тем более нельзя применять его рекомендации на исторических и природных территориях, где важно обеспечить максимальные межремонтные сроки в целях сохранения и обеспечения сохранности культурного и природного наследия. Сроки должны быть и бывают значительно более продолжительными, что автор может подтвердить сравнительным анализом результатов благоустройства разных лет парка и сквера Новодевичьего монастыря [1]. В последние годы произошли важные изменения, которые могут положительно повлиять на результаты благоустройства в городах, в т. ч. на исторических и природных территориях. Вышедший в январе 2023 г. федеральный ГОСТ по благоустройству ориентирован исключительно на сферу ЖКХ, ему недостает комплексных междисциплинарных подходов к задачам благоустройства, по стандартам для исторических территорий нет ничего.

В последние годы наметились и положительные тенденции. Для обсуждения и принятия решений по проектам благоустройства начиная с 2021 г. в муниципальных образованиях создаются специальные комиссии по благоустройству, при этом муниципальные образования (МО) с учетом их особенностей должны разработать и утвердить нормативные документы по разработке проектов благоустройства. В декабре 2021 г. Минстроем России утверждены рекомендации по разработке в МО таких нормативных документов¹. «Рекомендации» представляют собой хорошо проработанный документ, учитывающий то, что деятельность по благоустройству должна осуществляться в соответствии с градостроительными требованиями, однако в них недостаточно отражаются требования по благоустройству природных территорий и совершенно отсутствуют специальные требования для исторических. Объективной предпосылкой для этих «упущений» является то, что согласно закону РФ «Об охране культурного наследия», деятельность по благоустройству не регламентируется даже на территориях ОКН. При этом известно, что просчеты благоустройства часто наносят вред не только историко-градостроительной и историко-ландшафтной среде, но и физической сохранности культурного и природного наследия [2—5].

¹ Методические рекомендации по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727987870?section=text>.

Несмотря на внушительные, а в некоторых городах беспрецедентные масштабы работ, методологии и методике проектирования благоустройства на природных и исторических территориях в последние десятилетия должного внимания не уделялось, хотя очевидно, что необходима специализированная методика, обеспечивающая комплексную регенерацию территорий и меры по сохранению и обеспечению сохранности культурного и природного наследия [6—11]. В работах Е. Л. Беляевой показано, что проведение комплексного инженерного благоустройства исторических и природных территорий является универсальным средством и инструментом решения градостроительных, экологических, и социальных проблем их регенерации. В условиях «глобализации», к сожалению, мало изучались традиции отечественных научных школ реконструкции, развития и благоустройства городов, рубежа XX—XI вв. и советского периода, что негативно сказывается на современной практике и результатах благоустройства природно-исторических и природных территорий городов [6, 12—15].

Разработка современной научной методологии, методики и методов проектирования благоустройства для исторических и природных территорий является важной научно-практической проблемой и задачей. На таких территориях существенно увеличивается количество и значимость факторов, которые должны учитываться в проектах регенерации и реконструкции территорий, при обеспечении сохранности исторических ландшафтов, памятников архитектуры и архитектурных ансамблей, исторической среды, ценных природных объектов и комплексов, а также факторов, касающихся экологической и социальной оценки проектов.

Некоторые социальные и социологические аспекты благоустройства исторических, природных и озелененных территорий были рассмотрены в соавторстве с известным социологом Е. М. Акимкиным [16, 17], где с позиций социологии приводится социальная оценка некоторых результатов современного благоустройства, проводившегося в Москве. Однако проведенных исследований недостаточно для того, чтобы разработать современные социологические аспекты методологии и методики проектирования в полном объеме и увязать их с проектной практикой. Если методические вопросы экологической оценки проектов благоустройства относительно хорошо исследованы и разработаны, то вопросы оценки социокультурных факторов, влияния экологических и геоэкологических факторов на сохранность памятников архитектуры, социальной и социологической оценки проектов благоустройства практически не разработаны. Эти вопросы часто поднимаются общественностью при рассмотрении проектов благоустройства на публичных слушаниях, особенно когда проекты затрагивают интересы большого количества жителей. Таким образом, вопросы методологии и методики социально значимых факторов благоустройства имеют важное научное и практическое значение, их рекомендуется исследовать как самостоятельное научное направление.

В качестве примера приведена систематизация факторов, наиболее значимых для социально-экологической оценки проектов благоустройства, расположенных на природно-исторических территориях, в виде структурно-аналитической модели (рис.). Модель отражает рекомендуемые состав и содержание проекта благоустройства, обеспечивающие при надлежащем учете правовых и нормативных требований установленный статус и режимы градостроительной деятельности, сохранности природного наследия, ценных природных объектов и комплексов.

Основные факторы, критерии и показатели принятия решений по благоустройству природно-исторической территории					
<p>Местоположение участка благоустройства, площадь, границы, особенности градостроительного окружения, действующие градостроительные регламенты и режимы (ООПТ, ПК, ПИК – производственные, СПИ, охранная зона ОКН). Наличие в границах благоустройства и на прилегающей территории ценных природных объектов (ЦПО), ценных природных комплексов (ЦПК), объектов, входящих в «предмет охраны» ОКН. Существующее и планируемое назначение территории благоустройства и прилегающих территорий согласно ПЗЗ.</p>	<p>Оценка природной и историко-культурной ценности участка благоустройства и прилегающих территорий, статус и режимы использования исходя из действующих регламентов территорий, в т.ч. ООПТ, ПК, ПИК – производственные, СПИ, охранная зона ОКН. Характеристика (описание) утвержденных ЦПО, ЦПК, «предмета охраны» и выявленных ОКН, в том числе памятников археологии.</p>	<p>Междисциплинарная оценка территории по совокупности природно-ландшафтных факторов. Природно-ландшафтные факторы: исследование, ортография местности, рельеф, геоморфология, геология, гидрогеология, гидрология, почва, растительность, биологические ресурсы, выявление биологов, выявление местобитания краснокнижных видов растений, животных, характеристика гидрообъектов по критериям соответствующих научных дисциплин.</p>	<p>Рекреационная оценка участка и прилегающих территорий. Обследование рекреационных нагрузок и расчет (прогноз). Оценка рекреационных нагрузок исходя из установленных панорам, секторам видимости. Оптимизация условий восприятия природно-исторического ландшафта и «предмета охраны» с учетом особенностей и архитектурно-пространственной композиции и ландшафтного дизайна.</p>	<p>Ландшафтно-эстетическая оценка. Визуально-ландшафтный анализ ландшафта по основным визуальным раскрываем – панорамам, секторам видимости. Оптимизация условий восприятия природно-исторического ландшафта и «предмета охраны» с учетом особенностей и архитектурно-пространственной композиции и ландшафтного дизайна.</p>	
<p>Экологическое состояние территории. Геоэкологические изыскания и оценки по факторам микроклимата, загрязнения воздуха, шума, почв, радиации, поверхностного стока, поверхностных и подземных вод, накопления отходов по нормативным критериям. Выявление и ранжирование приоритетных проблем и проблемных ареалов.</p>	<p>Оценка существующего озеленения на основе таксационных обследований, в том числе по породному составу, показателям ценности, возраста, габаритов, по состоянию насаждений и травяного покрова. Оценка перспектив реконструкции и замены насаждений, возможностей формирования (восстановления) газонов с использованием биологических технологий и многокомпонентных травосмесей.</p>	<p>Оценка соблюдения противопожарных требований и нормативов в отношении наличия и транзитности противопожарных проездов, площадок, расстояний до лесных массивов и массивов зеленых насаждений в т.ч. по МГСН-1.01.99 и МГСН-1.02.02.</p>	<p>Показатели соответствия функционально-пространственной и планировочной организации территории объекта благоустройства на природно-исторической территории с учетом статуса, режима и требований «сохранения» и «обеспечения сохранности» «предмета охраны» ОКН, ЦПО и ЦПК в границах и на прилегающей природно-исторической территории, в т.ч. по критериям МГСН-1.01.99 и МГСН-1.02.02.</p>	<p>Оценка технического состояния благоустройства по качеству дорожных одежд, газонов, насаждений, по условиям водоотведения. Оценка по состоянию элементов благоустройства, МДФ, ограждений, инженерных систем, связанных с рекреационными услугами обслуживания территории (электрооснабжение, охрана и видеонаблюдение, освещение).</p>	<p>Соблюдение нормативных требований к проектированию участка благоустройства и прилегающих территорий по критериям функционального использования территории, планировочной структуры, классификации и габаритов дорожно-тропичной сети, в том числе по МГСН-1.01.99 и МГСН-1.02.02.</p>
<p>Многокритериальный анализ задач благоустройства и озеленения природно-исторической территории с «особым статусом» – ООПТ, ПК, ОКН, ПИК, охранная зона ОКН</p>					

¹⁾ Содержание пунктов 2-12 дано в виде подчёркнутых подлиней.
^{**)} В таблице обведены следующие сокращения – ООПТ – особо охраняемая природная территория, территория ПК – территория природного комплекса, ОКН – объект культурного наследия, ПИК-памятник истории и культуры, произведение СПИ – произведение садово-паркового искусства.

Модель социально-экологической оценки проекта благоустройства природно-исторических территорий

Приведенные данные по составу и содержанию работ по социально-экологической оценке проекта благоустройства подтверждают многофакторность и междисциплинарный характер информации, необходимой для проектирования, а значит — потребность в проведении расширенных предпроектных обоснований и изысканий проектов благоустройства и применения методологии системного анализа и методов многокритериальной оценки территорий и объектов проектирования.

Для разработки подходов и принципов социальной оценки проектов благоустройства и совершенствования методики проектирования в условиях Москвы, например, должны учитываться требования и нормативы безопасности, СП и МГСН, нормативов функционально-планировочной организации, транспортного обслуживания и пешеходной доступности объектов благоустройства, нормативов озеленения и инженерного обеспечения, в т. ч. освещенности, соответствие демографической структуре населения, санитарно-гигиеническим требованиям, а также, как показывает опыт опросов и общественных слушаний, социокультурные, природоохранные и экологические факторы. В [18, 19] на примере авторского проекта реставрации и благоустройства парка усадьбы Михалково, расположенной в Москве, обоснована роль социокультурных и экологических факторов в социальной (социологической) оценке проектов благоустройства и парковой реставрации.

На сегодняшний день даже для разработки проектов парковой реставрации, регенерации и благоустройства отсутствуют не только методы социо-экологической оценки, но и утвержденные методы историко-культурных, историко-ландшафтных и историко-градостроительных исследований, несмотря на то что данные виды работ входят в состав научно-реставрационных исследований согласно ГОСТ². Безусловно, для этого есть и объективные причины, которые являются следствием разнообразия и своеобразия объектов проектирования, в связи с чем унификация методики не только не целесообразна, но может нанести вред результатам проектирования. Исходя из авторского практического опыта, необходимы индивидуальные подходы, обоснование выбора факторов и критериев и методов для принятия и оценки решений практически для каждого объекта проектирования с учетом его особенностей.

Приоритетность природоохранных и экологических факторов при социальной оценке проекта благоустройства можно оценить на примере из авторского опыта научного руководства, предпроектных обоснований и представления на общественных слушаниях проекта благоустройства крупного пляжа с купанием, рассчитанного на 1500 человек, в Строгинской пойме в Москве в Строгино (ООО «Альфамик» — ООО «ИГБИ»). Пляж расположен на берегу Строгинского залива в Строгинском парке на территории ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк (ПИП) «Москворецкий» в общегородской рекреационной зоне с 4-м режимом градостроительной деятельности. Проект был разработан и реализован в 2012—2014 гг. При социальной значимости этого уникального для Москвы места отдыха, традиционно используемого жителями Строгино и других районов Москвы, особое внимание в нем уделялось обеспечению нормативных социально-

² Градостроительный кодекс Российской Федерации. М. : Кодекс, 2023. 320 с.

экологических требований, установленных для объектов отдыха у воды и соответствующих ГОСТ в части безопасности купающихся, санитарной гигиены, требований, касающихся маломобильных групп населения, с максимальным учетом действующих природоохранных режимов использования территории. Практика общественных обсуждений показала, что экологические и природоохранные требования играли в социальной оценке проекта населением ведущую роль. Наибольшее количество вопросов и замечаний касалось экологических и природоохранных требований, связанных с соблюдением действующего на территории режима ООПТ, оценки состояния и охраны водного бассейна Строгинского залива, соблюдения режимов водоохранных зон. Жители положительно оценили также архитектурно-ландшафтные качества проекта.

Оригинальные архитектурно-композиционные, конструктивные решения пляжа были разработаны сербскими архитекторами М. Радоничем и А. Йовановичем, и обеспечили сохранение ландшафта и зеленых насаждений. Устройство комплекса из деревянной прогулочной набережной с деревянными террасами для пляжного оборудования и вышкой спасателей в виде маяка скрыли берегоукрепление, обеспечили благоприятные подходы к воде, благодаря чему удалось избежать масштабных работ по вертикальной планировке береговой и прибрежной зон.

Пример благоустройства крупного пляжа с купанием в Строгино показал, насколько разнообразными, междисциплинарными и творческими могут быть задачи благоустройства городских, в т. ч. природно-исторических территорий, особенно когда проекты благоустройства напрямую затрагивают интересы большого количества горожан. Но необходимо учитывать и новые требования к методике градостроительного проектирования, касающиеся системности и цифровизации. Рассмотрим вопросы этого направления совершенствования методики проектирования благоустройства природных и исторических территорий с обязательным проведением социально-экологической оценки наиболее значимой для населения городов.

Современный уровень и перспективы цифровизации проектирования

Опыт проектирования показывает, что все рассмотренные выше методические проблемы в полной мере относятся к проблемам и задачам цифровизации проектирования благоустройства. Эта достаточно сложная задача как с информационной точки зрения, так и с аналитической, предполагает принятие решений в сложной, плохо структурированной системе факторов, критериев и условий, которая должна выстраиваться на основе развивающихся экспертных методов, но при этом с использованием индивидуальных творческих подходов, что всегда было важно для градостроительного проектирования. Ниже рассмотрим современный уровень цифровизации проектирования благоустройства и перспективы его развития.

Источников или учебной литературы, посвященных цифровизации работ по благоустройству, не обнаружено. В учебном пособии И. С. Шукурова [20] вопросы проектирования благоустройства рассмотрены более широко — с позиций планировочной организации, благоустройства и организации рельефа, чем непосредственно в границах методов и цифровизации частного раздела проекта, относящегося к стадии рабочего проектирования. Рассмотрен инструментарий и программное обеспечение решения ряда задач информационного

обеспечения проектирования с помощью программного комплекса GREDO, в т. ч. проектирования вертикальной планировки с использованием программы GREDO-mix, приводятся простейшие примеры практического использования. Учебное пособие рассчитано на студентов и по нему нельзя сделать выводы о результатах применения программы в практике вертикальной планировки.

В таблице обобщаются наиболее часто применяемые при проектировании благоустройства программы, которые принимались согласующими на начало 2022 г. Эти программы в разных проектах, выполнявшихся с участием автора, были согласованы, прошли государственную экспертизу и были реализованы (пляж Строгино; парк усадьбы Михалково; территория, прилегающая к Дворцу молодежи; часть ОКН «Сквер на Миусской площади»; зона отдыха Рождествено с прудами; сквер на Рогожском Валу) и таким образом апробированы в проектировании. Данными об импортозамещении, происходящем в этой области, и о соответствии критериям размещения в национальном фонде алгоритмов автор не располагает.

Основное программное обеспечение, используемое и апробированное при разработке проектов благоустройства

Наименование	Функционал	Сайт разработчика
AutoCAD	Разработка генерального плана, плана озеленения, существующего положения, дендрологического и др., разбивочного чертежа	www.autodesk.com
Civil 3D	Вертикальная планировка	www.autodesk.com
Geonix	Вертикальная планировка	https://geonics.ru/
DIALUX EVO	Светотехнический расчет	https://www.dialux.com/en-GB/download

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ в актуализированной редакции (ч. 10, ст. 57) обозначены общие перспективы цифровизации градостроительной деятельности и формирования государственных отраслевых информационных систем. Должно получить развитие и рекомендуемое актуальное направление, касающееся проектирования благоустройства с учетом особенностей природных и исторических территорий, требований сохранения памятников архитектуры, ценной градостроительной среды, исторических ландшафтов, ценных природных объектов и комплексов, а также социально-экологических требований и, возможно, результатов социологического сопровождения проектов.

Современной задачей совершенствования методики проектирования благоустройства исторических и природных территорий является цифровизация. Чтобы ознакомиться с ее предпосылками, рассмотрим состояние вопроса хотя бы в объеме учебной литературы [21, 22]. Качественно повлиять на результаты благоустройства в рамках цифровизации можно только при условиях системного решения рассмотренных выше методологических и прикладных проблем этого направления, разработки специальной методологии и методики проектирования благоустройства природных и исторических территорий, социально и экологически ориентированного благоустройства.

Аналогичный методический аппарат и программное обеспечение можно будет использовать и при социальной оценке, что позволит обеспечить преемственность проектного и социологического инструментария, используемого при оценке проектов.

Для проектирования и социальной оценки проектов должны разрабатываться и использоваться дополнительные критерии и методы, информационное обеспечение, в т. ч. критерии и методы социальной диагностики проектов в парадигме социального прогнозного проектирования, предложенной Т. М. Дридзе и соавторами [23, 24].

Как видно из таблицы, в современной практике для проектирования опорного плана, дендроплана, схемы планировочной организации земельного участка, плана покрытий, вертикальной планировки, планов инженерных сетей и разделов благоустройства и озеленения уже много лет применяется программное обеспечение AutoCAD и менее распространенные другие зарубежные программы, отечественные практически не применяются.

Исключением являются отдельные специальные программы и программные комплексы для проектирования освещения, систем безопасности, составления дендроплана и некоторые другие. Как представляется, импортозамещение разработки проекта благоустройства в целом — очень сложный процесс, поскольку зависит от программного обеспечения первичных градостроительных геоинформсистем, которые в нашей стране долгие годы были стандартизованы и привязаны к стандартным видам топооснов, выполнявшихся в различных масштабах государственными организациями. На сегодняшний день информсистемы, ориентированные на М 1:500, достаточно хорошо привязаны к задачам разработки СПОЗУ (генплана) проекта благоустройства и его разделов согласно ПП РФ № 87 и к стадиям проектирования. При проектировании благоустройства на природных территориях и исторических территориях со сложным рельефом иногда используются программы для составления «ортопланов» различного масштаба, с помощью которых рекомендуется уточнять основные проектные решения СПОЗУ и подсчет основных ТЭП проекта.

Цифровизация достаточно широко используется при разработке экологических разделов проектов благоустройства, особенно для нормативных расчетов вредных выбросов в атмосферу и расчетов рассеивания по ОНД—86 (серия программ «Атмосфера»), для определения шумности источников и акустического загрязнения, для составления дендроплана и пересчетной ведомости. В некоторых случаях специальные программы используются для оценки и прогнозов загрязнения водных бассейнов, расчетов объемов поверхностного стока и загрязнения ливневых вод, для разделов накопления и размещения отходов, расчетные программы для прогнозов изменения гидрогеологического режима. Недостатки упомянутых цифровых систем и расчетных методов, а также различия в подходах к оценке различных факторов окружающей среды хорошо известны, и это затрудняет проведение комплексной экологической оценки. А как другие факторы и виды оценки?

Проектировщикам хорошо известно, что даже самые современные отечественные и зарубежные программные продукты не позволяют адекватно моделировать особенности ландшафтных объектов или отображать облик и условия восприятия исторической застройки и должным образом прогнозировать

социокультурные и архитектурно-эстетические результаты проектирования. Оценить качество проектных решений, смоделировав аутентичный образ объекта благоустройства в исторической или природной среде, не удастся. При этом даже упрощенный вариант визуализации, как показывает опыт проектирования, весьма трудоемок. Хорошо известно, что в последние годы для рассмотрения предпроектных проработок, в конкурсных процедурах и при проведении общественных слушаний 3D-визуализация проектных решений активно использовалась. Однако качество визуализации лишь подтвердило, что для целей проектирования ландшафтных объектов и проектов благоустройства, выполняемых в М 1:500 и 1:200, вместо использования сложных, дорогостоящих и трудоемких программ эффективнее применение «фотошопа» с «врисовками», выполненными вручную.

Не следует необоснованно привносить цифровые методы и программные продукты в недостаточно структурированную многокритериальную экспертную систему оценки и принятия комплексных решений по благоустройству, особенно выполняемых на исторических и природных территориях городов. То же касается методов социологической оценки проектов, когда недопустимо использовать чрезмерно упрощенные модели, лишенные реального содержания, но создающие видимость современных «цифровых» процессов.

Безусловно, отечественное программное обеспечение остро необходимо, поскольку в зарубежных программах не учитывается отечественное законодательство, действующие градостроительные регламенты и нормативные акты, определяющие системный подход к деятельности по благоустройству и сами «смыслы» принимаемых решений, их социальную направленность. Для успешного проектирования благоустройства территорий в будущем необходимо расширенное информационное обеспечение и серьезная цифровизация предпроектной подготовки путем выполнения градоэкологических, инженерных и геоэкологических изысканий, социокультурных и социологических обоснований проектов.

Для включения в государственную информационно-аналитическую систему обеспечения градостроительной деятельности рассматриваемое направление, связанное с проектированием благоустройства на природных и исторических территориях, в перспективе должно удовлетворять также формальным требованиям по Градостроительному кодексу (ч. 2, ст. 57). Потребуется согласование не только содержания разрабатываемой части градостроительной информационной системы (ГИС), но и соответствие программного обеспечения критериям, установленным для размещения в национальном фонде алгоритмов. Это очень сложная задача.

Таким образом, создание ГИС «умного города» в области благоустройства в перспективе может являться междисциплинарной, многоотраслевой проблемой и потребует достаточно продолжительного времени и межотраслевой увязки законодательства, нормативно-методической базы и организации управления процессом на основе системного подхода. По действующему законодательству и нормативным документам деятельность по благоустройству, контроль за реализацией проектов и последующий мониторинг за объектами благоустройства осуществляются муниципальными образованиями и

специальными комиссиями при них³. Действующими нормативно-методическими документами это не предусмотрено, но постепенно проблема взаимной увязки должна преодолеваться.

Задача создания отраслевых ГИС, включающих инструменты межведомственного электронного взаимодействия, чрезвычайно актуальна. Пока этим направлением цифровизации, насколько известно автору, никто не занимается, а междисциплинарные научно-методологические основы, которые могли бы стать основой многоотраслевого направления современной практической деятельности, пока не разработаны. Отечественным разработчикам градостроительных информационно-аналитических систем для «умного города» в области благоустройства территорий, расположенных на землях с особым статусом и режимами использования (ООПТ, ОКН, ПК, охранный зона ОКН), необходимо иметь внушительный практический опыт (проектирования, управления, реализации проектов). Важно понимать и учитывать многочисленные взаимосвязанные факторы в системе технического задания — предпроектной подготовки, проектирования, согласования, реализации проектов, а в последующем — технической эксплуатации и мониторинга.

Как представляется, при движении в направлении цифровизации и «умного города» не следует преувеличивать как значение зарубежных подходов к благоустройству «эпохи глобализации», так и распространенных за рубежом цифровых моделей и математических методов построения многофакторных и многокритериальных моделей комплексной оценки урбанизированных систем, которые не учитывают особенностей нашей правовой базы, менталитета, плохо поддаются реальной социологической, экологической и градостроительной оценке. Экспертные математические модели в отечественной практике не всегда применимы, а попытки интерпретации результатов достаточно широкой и многофакторной оценки проектов благоустройства использовались крайне неудачно. За рубежом понятие благоустройства как системообразующего вида деятельности по устойчивому развитию урбанизированных территорий и городов тоже не применяется, например, нет его прямого перевода на английский язык.

Выводы

Обозначим некоторые наиболее важные моменты, которые следует учитывать при цифровизации проектирования благоустройства и ведения этой деятельности:

1. Проблемы правового регулирования проектирования благоустройства, природных и исторических территорий городов, методологии, методики, нормативно чрезвычайно важные для всех градостроительных подсистем, которые должны войти в единую государственную градостроительную информационную систему в качестве самостоятельного направления, не только

³ Приказ Минстроя РФ № 1042-пр. Об утверждении методических рекомендаций по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/138187>.

ППМ № 1489-пп от 28.09.2021. Об утверждении «Положения о муниципальном контроле в сфере благоустройства в городе Москве». URL: <https://docs.cntd.ru/document/608914481>.

Методические рекомендации по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727987870?section=text>.

не решены, но и не обозначены, не определены их задачи, место и параметры в сфере информационных технологий.

2. Для социальной, экологической и градостроительной оценки каждого проекта благоустройства, расположенного на природных и исторических территориях, необходимы обоснования индивидуальных подходов и научного содержания пофакторных и комплексных междисциплинарных оценок с подтверждением их результатами натурных исследований. Необходимо разработать процедуры принятия локальных и комплексных решений по благоустройству, основанных на разностороннем анализе и точном знании природно-ландшафтных, историко-архитектурных, социокультурных, пространственно-планировочных, инженерно-геологических, экологических и эстетических условий благоустраиваемой и прилегающих территорий, которые должны стать основой для решения социально значимых проблем проекта благоустройства.

3. Для цифровизации проектирования благоустройства, последующей реализации проектов и мониторинга за их состоянием необходимо дальнейшее междисциплинарное изучение природно-техногенных и социально-градостроительных систем, формулирование подходов и принципов их формирования в отношении объектов благоустройства, обоснование использования плохо формализуемых методов комплексной оценки территорий, выявления проблемных ситуаций, принципов учета особенностей объектов благоустройства различного вида исходя из их назначения, местоположения, действующих градостроительных регламентов и режимов, рекреационных нагрузок и других особенностей территории.

4. В рассматриваемой области проектировании благоустройства цифровизация проводится не системно, процесс цифровизации не сформирован и нуждается в междисциплинарном научном обосновании, и особенно в том, что касается направления благоустройства природных и исторических территорий городов. Необходимо избегать форсирования цифровизации, и в первую очередь важны специальные междисциплинарные исследования, направленные на «доцифровое» совершенствование методологии и методики проектирования исходя из социальных, экологических, природоохранных, ландшафтных, историко-культурных, архитектурных и эстетических требований с учетом законодательства и действующих градостроительных регламентов. Даже на ранних этапах разработки необходимо учитывать перспективы системной цифровизации и соответствия программного обеспечения критериям размещения программного обеспечения в национальном фонде алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беляева Е. Л.* Ландшафтный анализ для благоустройства сквера и парка Новодевичьего монастыря // *Ландшафтная архитектура в эпоху глобализации.* 2020. № 3. С. 53—80.
2. *Беляева Е. Л.* «Сохранение» и «обеспечение сохранности» при проектировании благоустройства и озеленения центров исторических городов // *Биосферная совместимость: человек, регион, технология.* 2019. № 3(27). С. 54—70.
3. *Беляева Е. Л.* Анализ результатов благоустройства центров исторических городов (на примере Коломны, Сергиева Посада, Дмитрова, Звенигорода) // *Ландшафтная архитектура в эпоху глобализации.* 2021. № 1. С. 14—38.
4. *Пашкин Е. М.* Инженерная геология (для реставраторов) : учеб. пособие. М. : Архитектура-С, 2005. 264 с.

5. Николаевская З. А. Благоустройство городских территорий средствами ландшафтной архитектуры. Актуальные проблемы благоустройства городов. М., 1979.
6. Беляева Е. Л. Особенности благоустройства и озеленения исторических городов. Подходы и методические рекомендации : монография. М. : Экон-Информ, 2021. 270 с.
7. Ильинская Н. А. Восстановление исторических объектов ландшафтной архитектуры. Л. : Стройиздат, 1984. 152 с.
8. Шепелев Н. П., Шумилов М. С. Реконструкция городской застройки : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 2020. 271 с.
9. Беляева Е. Л. Методология и методика проектирования благоустройства и озеленения исторических городов. Ч. 1. Научное содержание информационно-аналитической модели проектирования благоустройства и озеленения исторических городов // *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 2. С. 59—68.
10. Беляева Е. Л. Методология и методика проектирования благоустройства и озеленения исторических городов. Ч. 2. Использование картографических методов и разработка информационно-аналитических моделей // *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 3. С. 77—87.
11. Чистякова С. Б., Беляева Е. Л. Использование градозоологических подходов к благоустройству и озеленению исторических городов // Сборник науч. трудов РААСН Т. 1. М. : АСВ, 2021. С. 416—423.
12. Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яргина З. Н. Город и ландшафт. М. : Мысль, 1986. 237 с.
13. Благовидова Н. Г. Особенности формирования и сохранения элементов природного и историко-культурного наследия в исторических городах юго-восточного направления // *Архитектура и строительство России*. 2016. № 34. С. 22—29.
14. Горохов В. А., Расторгуев О. С. Инженерное благоустройство городских территорий и населенных мест. М. : Стройиздат, 1994. 458 с.
15. Краснощекова Н. С., Иванова В. И. Москва — Париж. Природа и градостроительство // М. : Инкомбук, 1997. 199 с.
16. Акимкин Е. М., Беляева Е. Л. Историко-культурное наследие: препятствие или ресурс развития муниципального района // *Диагностика власти и управления: коммуникативные механизмы и «двойные стандарты»* : материалы всероссийской конф. с международным участием «XV Дридзеvские чтения». М., 2016. С. 297—305.
17. Акимкин Е. М., Беляева Е. Л. Социокультурные аспекты сохранения культурного наследия и новые программы развития благоустройства Москвы // *Россия и мир: глобальные вызовы и стратегии социокультурной модернизации* : материалы международной науч.-практ. конф. Федеральный научно-исследовательский социологический центр РАН, 2017. С. 637—644.
18. Беляева Е. Л., Маркина И. А., Могонов Б. Г. Методология, методика, опыт работ по сохранению парка усадьбы Михалково. Ч. 1 // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 78—84.
19. Беляева Е. Л., Маркина И. А., Могонов Б. Г. Методология, методика, опыт работ по сохранению парка усадьбы Михалково. Ч. 2 // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 2. С. 113—120.
20. Шукуров М. С. Вертикальная планировка территории. Основы автоматизированного проектирования : учеб. пособие. М. : АСВ, 2013. 223 с.
21. Информационные системы и технологии в строительстве : учеб. пособие / А. А. Волков, С. Н. Петрова, А. В. Гинзбург, Н. А. Иванов, Ф. К. Клашанов, А. И. Конилов, С. В. Никитина, К. В. Постнов. М. : МГСУ, 2015. 422 с.
22. Беляев М. А., Лысенко В. В., Малинина Л. А. Основы информатики : учебник для студентов вузов. Ростов н/Д : Феникс, 2006. 352 с.
23. Градоустройство: от социальной диагностики к конструктивному диалогу заинтересованных сторон : сб. науч. тр. в 2 кн. / отв. ред. Т. М. Дридзе. М. : Изд. Института психологии РАН, 1998.
24. Социально-обоснованное градоустройство в режиме прогнозного социального проектирования: от социальной диагностики к профилактике конфликтных ситуаций и к конструктивному диалогу заинтересованных сторон : монография / под ред. Т. М. Дридзе. М. : Институт социологии РАН, 2005. 492 с.

© Беляева Е. Л., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Беляева Е. Л. Вопросы методики проектирования благоустройства исторических и природных территорий в контексте цифровизации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 243—255.

Об авторе:

Беляева Елена Львовна — канд. техн. наук, советник РААСН, акад. РАЕН, директор ООО «Институт геобиосферных исследований». Российская Федерация, 127521, г. Москва, Анненский проезд, 12; igbi@yandex.ru

Elena L. Belyaeva

LLC "Institute of Geobiosphere Research,,

QUESTIONS OF THE METHODOLOGY OF LANDSCAPING DESIGN HISTORICAL AND NATURAL TERRITORIES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

The article is devoted to the methodology of taking into account the social and sociological aspects of the improvement of natural and historical territories of cities as an important area of interdisciplinary sociological, urban planning, environmental protection, historical-cultural and historical-landscape studies. Improvement projects, depending on the purpose, type, area, object, its location and level of improvement, affect the interests of social groups in a wide range — from relatively small to numerous recreations. The social significance of the landscaping project is determined not only by visitor loads, historical, cultural and natural value of the landscaping area and its surroundings, but also by the approved mode of urban planning use. Based on the analysis of the author's experience of design, expertise, public hearings and the implementation of improvement projects, the necessity of developing a special methodology for socio-environmental assessment of projects, which should take into account the peculiarities of improvement objects, is proved. Examples are given confirming the importance of studying the issues of social and sociological evaluation of such projects. The most significant factors for the socio-ecological assessment of landscaping territories, including territories of a special type, are systematized. A model is proposed that reflects the influence of various factors on the socio-ecological assessment of landscaping projects located on natural and historical territories.

An example of a project affecting the interests of a large number of residents is a landscaping project on the territory with the 4th mode of urban development of a protected area of regional significance «PIP Moskvoretsky» — a beach in the Stroginsky floodplain. The expediency of sociological support of such projects from the stage of pre-project studies to the implementation and evaluation of the results is substantiated. The scientific and practical tasks of digitalization of urban planning design are analyzed, which affects the issues of digitalization of landscaping design, which today uses the tools and software of the sections of the Scheme of the planning organization of the land plot from the field of object design. The problems of improving the methodology of designing the improvement of natural and historical territories, taking into account their status and regime in order to ensure the preservation of native and cultural heritage, are considered.

Key words: improvement of natural and historical territories, consideration of the design status, socio-ecological assessment and maintenance of improvement projects, digitalization of design and modes of urban use, preservation and preservation of natural and cultural heritage, methods of design and socio-ecological assessment of the project.

For citation:

Belyaeva E. L. [Questions of the methodology of landscaping design historical and natural territories in the context of digitalization]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 243—255.

About author:

Elena L. Belyaeva — Candidate of Engineering Sciences, Director of the LLC "Institute of Geobiosphere Research,, 12, Annenskii proezd, Moscow, 113105, Russian Federation; igbi@yandex.ru.

УДК 69; 72

А. В. Игнатьев^а, В. А. Игнатьев^а, И. А. Галишников^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Московский государственный строительный университет*

ПРОБЛЕМА СОДЕРЖАНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Различное содержание одних и тех же понятий, терминов приводит к конфликтам, как между различными конфессиями, так и между государствами, классами общества, отдельными индивидуумами. В статье предлагается адекватное описание содержания основных терминов, используемых в практике информационного моделирования объектов строительства (ВИМ-объектов). В перспективе это позволит выстроить единую систему классификации содержаний понятий-терминов. Предложены общие подходы, являющиеся основой для разработки частных алгоритмов создания и поддержки существования ВИМ-объектов на всех этапах их жизненного цикла.

Ключевые слова: информационное моделирование ВИМ-объектов, жизненный цикл ВИМ-объектов, различное содержание одних и тех же понятий-терминов как причина сложностей при информационном моделировании ВИМ-объектов.

*Люди избавились бы от половины
своих неприятностей, если бы смогли
договориться о значении слов.*

Р. Декарт

Еще в 1960-х годах основатель генеративной (структурной) лингвистики Ноам Хомский (Noam Chomsky) писал, что все неприятности и конфликты в мире между людьми, сообществами и даже государствами происходят из-за того, что в одни и те же термины они вкладывают разное содержание.

Данная ситуация наблюдается и в сфере информационного моделирования объектов строительства (ВИМ) — нового подхода к проектированию, возведению, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений, позволяющего управлять жизненным циклом объекта строительства [1—5].

Начнем с того, что термин «объект строительства» в российском законодательстве отсутствует. В Градостроительном кодексе и в сфере прикладного строительства существуют понятия «объект капитального строительства», а также «некапитальные или временные постройки».

Эти термины, во-первых, недостаточно точно отражают описание объектов, используемых в концепции ВИМ, и, во-вторых, не позволяют масштабировать эту концепцию на уровень развития городских территорий. Необходимо более точное описание понятий-терминов, используемых в этой концепции.

Введем термин-понятие «объект созидания», который на сегодняшний день является вполне уместным и точным. Объект созидания — это созданная человеком интеллектуальная или материальная сущность, в т. ч. ВИМ-объект. Уточняя содержание понятия «ВИМ-объект», можно определить его следующим образом: ВИМ-объект — это созданная человеком новая материальная сущность в сфере градостроительной деятельности. Сами ВИМ-объекты могут

быть иерархически структурированы, причем объекты нижнего уровня могут входить в состав объектов верхнего уровня. Объект, который рассматривается как целое, без выделения составных частей, называется элементом.

ВМ-объекты, как многоуровневые объекты созидания, являются сложными системами, и для адекватного их описания нужен так называемый системный подход. Однако до сих пор нет единого описания понятий-терминов «система», «системный подход», «системный анализ» [4, 6—15]. Существует по меньшей мере несколько десятков различных определений понятия «система», используемых в зависимости от контекста, области знаний и целей исследования [10]. Аналогичная ситуация наблюдается относительно содержания понятия «системный подход» [8—10, 15, 16].

С нашей точки зрения, наиболее точными являются следующие содержания понятий:

- **система** — комплекс элементов, находящихся во взаимодействии и представляющих собой целостность;
- **системный подход** — это совокупность методов и средств, позволяющих исследовать объект в целом, рассматривая его как систему со сложными взаимосвязями;
- **системный анализ** — весь алгоритм разделения сложного объекта (системы) на части (элементы) и установления связей между ними.

Переходя теперь к проблеме жизненного цикла объекта созидания, в том числе ВМ-объекта, отметим, что для любого из них он начинается в момент замысла и завершается в момент вывода объекта из эксплуатации (утилизации). При этом сам жизненный цикл объекта условно можно разделить на две фазы: разработка и работа с материальным объектом (рис. 1).

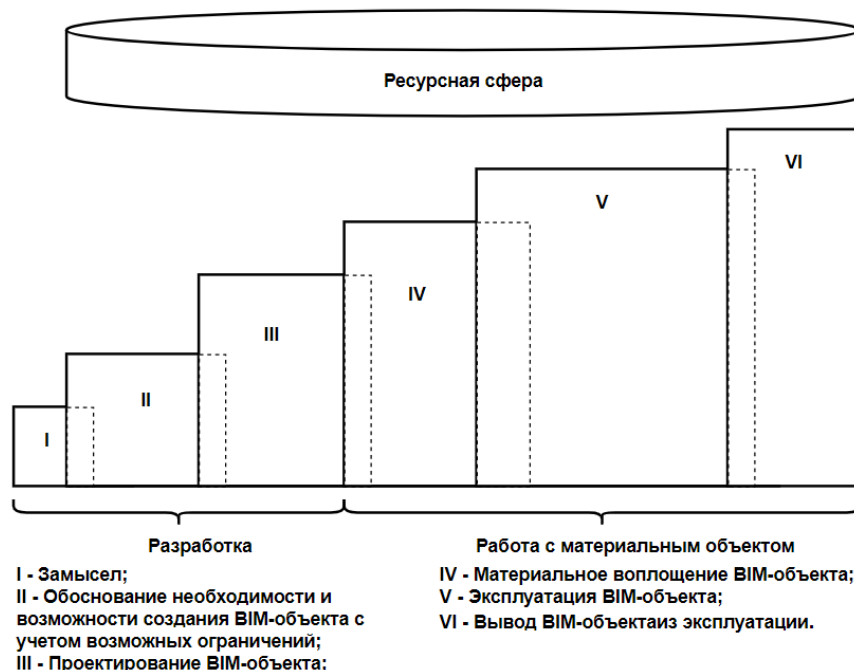


Рис. 1. Этапы жизненного цикла ВМ-объекта

Разработка (замысел, обоснование возможности создания, в т. ч. BIM-объекта, с учетом возможных ограничений и проектирование) всегда ведется не для конкретных экземпляров объекта, а «в общем случае», т. е. для множества всех подобных объектов, даже если речь идет о создании одного уникального объекта (например, здания из комплекса «Москва-Сити»). Работа с материальным объектом (его возведение, эксплуатация и вывод из эксплуатации) происходит после получения им своего материального воплощения. В этом случае речь идет уже о конкретном экземпляре объекта, для которого в дальнейшем нужно отлеживать изменения его состояния, возникающие в ходе эксплуатации, при взаимодействии с окружающей средой.

На практике многие из этих этапов, как правило, накладываются один на другой, а не идут строго последовательно [17]. Четкие границы между этапами жизненного цикла установить невозможно. Каждый последующий этап является продолжением (развитием) предыдущего.

Рассмотрим этапы жизненного цикла объекта создания подробнее.

I. Возникновение идеи объекта. Жизненный цикл любого объекта создания начинается с замысла (создания концепции). Архитектор задумывается о необходимости создания нового объекта.

II. Обоснование необходимости и возможности создания объекта с учетом возможных ограничений. На этапе обоснования замысла принимаются во внимание существующие ограничения: финансовые, технические и т. д. Все они очерчивают контур области допустимых решений по осуществлению замысла (рис. 2).



Рис. 2. BIM-объект в области допустимых решений

Еще одним важным понятием системного подхода является понятие «заинтересованные лица», так как именно для удовлетворения их потребностей создается целевая система [18]. При этом следует учитывать, что потребности относятся к надсистеме («Городу»), а требования — к системе (BIM-объекту).

Обоснование необходимости создания очередного BIM-объекта должно рассматриваться с учетом этой позиции (рис. 3).

Необходимость учета возможных ограничений может даже привести к пересмотру первоначального замысла.

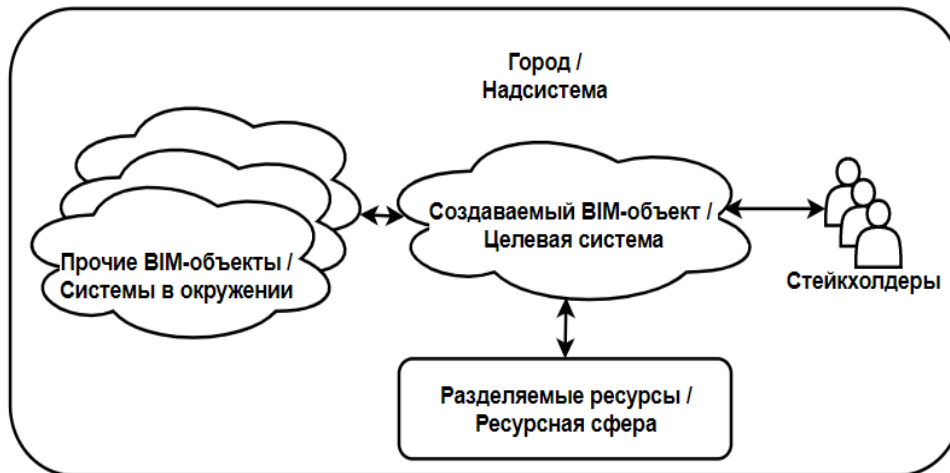


Рис. 3. BIM-объект как часть надсистемы «Город»

III. Проектирование объекта. Любой BIM-объект проходит стадию проектирования, которая зависит от его иерархического уровня и назначения.

IV. Материальное воплощение объекта. Именно на этом этапе BIM-объект получает свое материальное воплощение, становясь частью техносферы [19]. При этом происходит обращение к ресурсной сфере, в которой развивается процесс.

Как точно отмечено в книге А. Левенчука «Практическое системное мышление» [9]: «Людей в конечном итоге интересуют воплощения системы, а описания и документация системы их интересуют ровно постольку, поскольку без них воплощение системы трудно сделать, особенно когда речь идет о системах, создаваемых многими людьми».

На этом этапе необходимо следить за тем, чтобы материальное воплощение создаваемого BIM-объекта полностью соответствовало описанию (проектной документации), т. е. осуществлять мониторинг данного процесса.

Завершением этапа является возникновение конкретного экземпляра BIM-объекта, для которого, как уже отмечено выше, нужно отслеживать изменения его состояния, которые возникают в ходе эксплуатации и при взаимодействии с окружающей средой.

V. Этап эксплуатации BIM-объекта. Следующим этапом жизненного цикла BIM-объекта является его эксплуатация. На этом этапе происходит постоянный мониторинг BIM-объекта, на основании результатов которого делаются выводы о продолжении эксплуатации, восстановлении целевых свойств или утилизации BIM-объекта.

VI. Этап утилизации BIM-объекта (вывод BIM-объекта из эксплуатации). В процессе утилизации должны учитываться изменения свойств BIM-объекта (возникшие как в ходе эксплуатации, так и утилизации), могущие привести к его разрушению, т. е. к катастрофе.

Полностью жизненный цикл BIM-объекта показан на рис. 4.

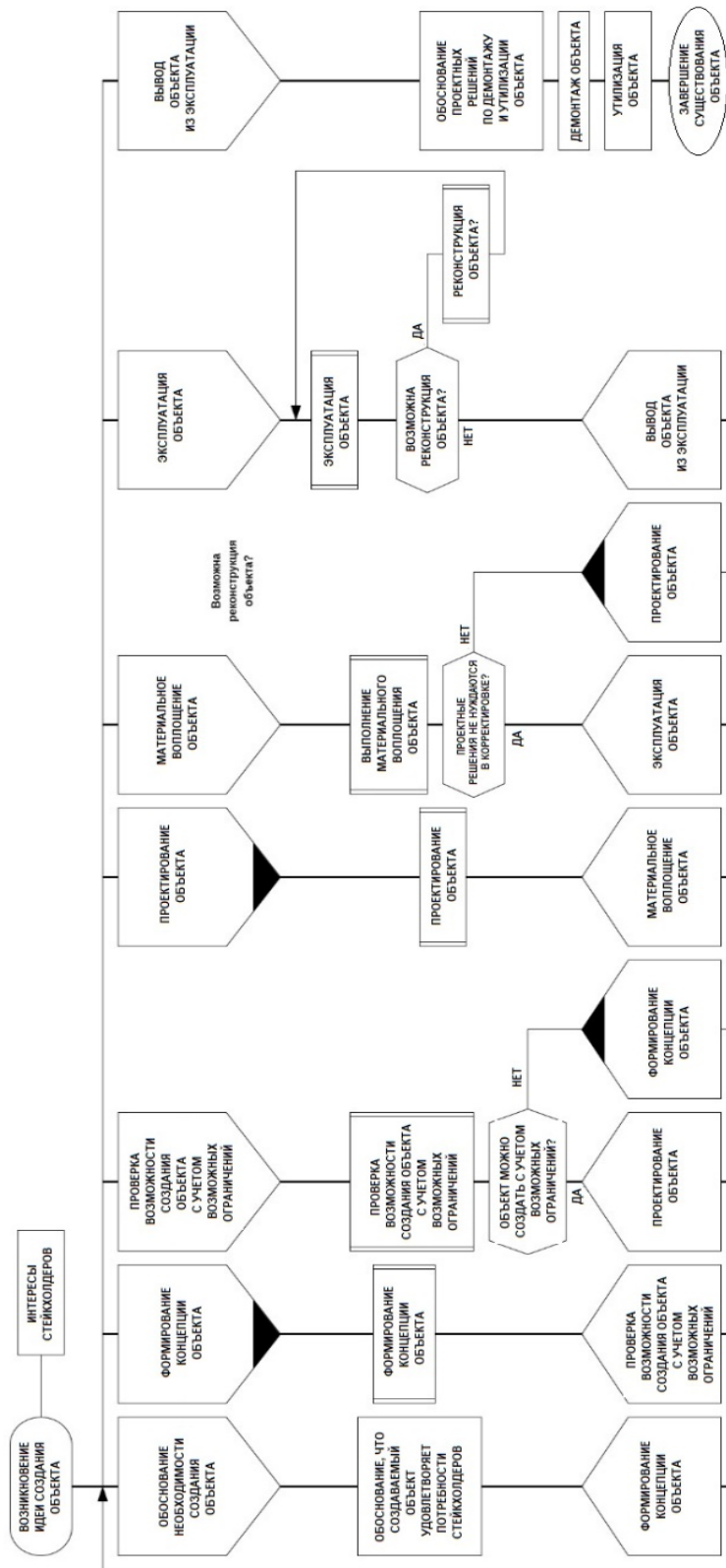


Рис. 4. Жизненный цикл BIM-объекта

Заключение

Информационное моделирование объектов создания не может быть уложено в прокрустово ложе конкретных сущностей. В частности, в области строительства нельзя ограничиваться рамками BIM-моделей, использующих исключительно трехмерные модели зданий и сооружений с их спецификациями. Объекты строительства должны рассматриваться как часть большой городской системы, в состав которой входят объекты строительства, объекты благоустройства, коммуникации, городская инфраструктура и жители, являющиеся главными стейкхолдерами, для удовлетворения потребностей которых создается и развивается город.

Предложенная в работе новая единая терминология позволяет выстроить единую систему классификации содержаний понятий-терминов для использования в практике информационного моделирования BIM-объектов. Предложенные общие подходы описания этапов жизненного цикла BIM-объекта являются основой для разработки частных алгоритмов создания и поддержки BIM-объектов на всех этапах их жизненного цикла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Abdirad H., Dossick C. S.* BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review // *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2016. Vol. 21. Pp. 250—271.
2. *Barison M., Santos E.* BIM Teaching: Current International Trends // *Gestão & Tecnologia de Projetos*. 2011. Vol. 6. No. 2. Pp. 67—80.
3. *Bozoglu J.* Collaboration and coordination learning modules for BIM education // *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. Special issue: 9th AiC BIM Academic Symposium & Job Task Analysis Review Conference. 2016. Vol. 21. Pp. 152—163.
4. *Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В.* Информационное обеспечение управления жизненным циклом строительных объектов в концепции BIM // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 217—227.
5. *Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В.* Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 329—335.
6. *Бачурина С. С.* Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 1 : цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. М. : ДМК Пресс, 2021. 112 с.
7. *Гинзбург А. В., Шилова Л. А., Адамцевич А. О.* Системотехника строительства : учебно-методическое пособие. М. : МИСИ — МГСУ, 2019. 45 с.
8. *Косяков А., Свит У. Н., Сеймур С. Дж., Бимер С. М.* Системная инженерия. Принципы и практика. 2-е изд. М. : ДМК Пресс, 2017. 624 с.
9. *Левенчук А. И.* Практическое системное мышление — 2022 : учебник. Издательские решения, 2022. 696 с.
10. *Лоусон Г. «Бад».* Путешествие по системному ландшафту. М. : ДМК Пресс, 2013. 372 с.
11. *Романов В. Н.* Системный анализ для инженеров. СПб. : СЗГЗТУ, 2006. 186 с.
12. *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*, 4th Edition. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2015. 304 p.
13. *Eisner H.* Essentials of Project and Systems Engineering Management. New Jersey : John Wiley & Sons, 2008. 487 p.
14. *Systems of systems engineering: innovations for the 21st century*. New Jersey : Mo Jamshidi. — John Wiley & Sons, 2009. 612 p.
15. *Hall A. D.* A Methodology for Systems Engineering. New Jersey : Van Nostrand, 1962. 478 p.
16. *Systems Engineering Guide for Systems of Systems*. Version 1.0. // US Department of Defense, August 2008. URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nde-ed.org/NDEEngineering/SafeDesign/DoD-Systems-Engineering-Guide-for-Systems-of-Systems-Aug-2008.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nde-ed.org/NDEEngineering/SafeDesign/DoD-Systems-Engineering-Guide-for-Systems-of-Systems-Aug-2008.pdf).

17. Брукс Ф. Проектирование процесса проектирования: записки компьютерного эксперта. М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2013. 464 с.

18. Systems Engineering Handbook, version 3.2.2. San Diego, CA, USA: International Council on Systems Engineering (INCOSE). 2012. INCOSE-TP-2003-002-03.2. URL: https://www.sebokwiki.org/wiki/Systems_Engineering_Overview.

19. Бондарев Л. Г. Техносфера // Экологический энциклопедический словарь. М. : Ноосфера, 1999. С. 672—674.

© Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Галишников И. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Галишников И. А. Проблема содержания терминов, используемых при информационном моделировании объектов строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 256—262.

Об авторах:

Игнатьев Александр Владимирович — д-р техн. наук, доц., проф. каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-0733-8808; alignat70@yandex.ru

Игнатьев Владимир Александрович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-0408-4251; alignat70@yandex.ru

Галишников Илья Александрович — ведущий инженер службы эксплуатации зданий и сооружений, Московский государственный строительный университет (МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; galishnikov@mail.ru

Alexander V. Ignatyev^a, Vladimir A. Ignatyev^a, Ilya A. Galishnikov^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Moscow State University of Civil Engineering*

THE PROBLEM OF THE CONTENT OF TERMS USED IN INFORMATION MODELING OF CONSTRUCTION OBJECTS

The different content of the same concepts of terms leads to conflicts, both between different confessions, and between states, classes of society, individual individuals. This article offers the most adequate description of the content of the main terms used in the practice of information modeling of building information model (BIM-objects). In the future, this will make it possible to build a unified system for classifying the contents of concepts-terms. General approaches are proposed, which are the basis for the development of private algorithms for creating and maintaining the existence of BIM objects at all stages of their life cycle.

Key words: information modeling of BIM-objects, life cycle of BIM objects, different content of the same concepts-terms as a cause of difficulties in information modeling of BIM-objects.

For citation:

Ignatyev A. V., Ignatyev V. A., Galishnikov I. A. [The problem of the content of terms used in information modeling of construction objects]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 256—262.

About authors:

Alexander V. Ignatyev — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0733-8808; alignat70@yandex.ru

Vladimir A. Ignatyev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0408-4251; alignat70@yandex.ru

Ilya A. Galishnikov — Lead Engineer, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; galishnikov@mail.ru

УДК 004.94:692.1

В. П. Красильников, А. В. Андрианов, П. А. Красильников

Пермский государственный национальный исследовательский университет

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

Внедрение BIM-технологий в процессы проектирования и строительства зданий и сооружений является закономерным ответом на постоянно возрастающие запросы промышленной и строительной отрасли. Одной из приоритетных задач применения BIM-технологий, обосновывающих затраты на первоначальных этапах ее внедрения в производственные процессы, является построение достоверной модели строительного объекта. Большая часть концепции цифрового информационного моделирования связана с описанием информационных характеристик сооружения на разных этапах его жизненного цикла и объединяет труд большого числа специалистов, таких как проектировщики, архитекторы, конструкторы и пр. В то же время деятельность геологов, обеспечивающих выполнение инженерно-геологических изысканий, зачастую стоит особняком и рассматривается как отдельный этап проектирования, не включенный с другими в единую систему, что снижает эффективность работы и увеличивает сроки строительства. Решить подобную проблему могло бы включение деятельности геологов в единую конструкцию рабочего процесса посредством BIM-технологий.

Ключевые слова: BIM-технологии, цифровое информационное моделирование, геотехника, основания, инженерно-геологические основания, геотехническая модель.

За последние 20 лет технологии информационного моделирования зданий, или BIM (от англ. Building Information Modeling), получили широкое развитие в сфере строительства и проектирования. Это объясняется постоянным усложнением строительных проектов и, как следствие, увеличением массива сопровождающей информации, что повышает затраты времени и финансов на их реализацию. Классические методы проектирования неспособны адекватно отвечать современным запросам инвесторов и заказчиков, приоритетными требованиями которых является сокращение расходов и повышение общего уровня эффективности. Одним из вариантов, способным удовлетворить данные потребности рынка, стало внедрение и применение BIM-технологий [1—3].

Термин BIM в настоящее время является общепризнанным, однако у него нет единого определения. В качестве достаточно точных можно рассмотреть две трактовки, которые, на наш взгляд, в определенной мере передают смысл данной технологии.

Первое определение предложил В. В. Талапов в учебном пособии «Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий», звучит оно следующим образом: «BIM — это вся имеющая числовое описание и нужным образом организованная и управляемая информация об объекте, используемая как на стадии проектирования и строительства здания, так и в период его эксплуатации и даже сноса» [4].

Второе определение изложено в документе «BIM-стандарт. Промышленные объекты» версии 1.0, разработанном ООО «КОНКУРАТОР» совместно со специалистами Autodesk. В данном стандарте технология BIM определяется как «методология, описывающая совместный способ работы по созданию

и использованию информационной модели как цифрового двойника реального физического объекта на всех стадиях его жизненного цикла» [5].

Помимо этого, аббревиатура BIM также может определяться как сама информационная модель здания (Building Information Model). Никакой ошибки в этой трактовке нет, и она также допустима, однако нужно понимать, что процесс первичен по отношению к модели, и BIM — это прежде всего процесс, в результате которого уже получается соответствующая цифровая модель.

Цифровая информационная модель объекта — совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства [6].

Таким образом, несмотря на то, что по своей сути BIM — это все-таки процесс, но в его основе находится единая модель возводимого объекта, и именно создание подобной модели является обязательным условием реализации технологии. Только на основании данных единой модели здания можно проводить достоверные расчеты его параметрических характеристик, создавать спецификации и любую другую рабочую документацию, планировать движение финансовых активов, поставку комплектующих на стройплощадку, управлять строительством и пр.

Большая часть концепции BIM-технологии завязана на описании информационных характеристик сооружения на разных этапах его жизненного цикла и объединяет труд большого числа специалистов, таких как проектировщики, архитекторы, конструкторы и пр. Однако деятельность геологов, обеспечивающих выполнение инженерно-геологических изысканий, зачастую стоит особняком и рассматривается как отдельный этап проектирования, не включенный с другими в единую систему. Так, в отечественных нормативных документах, например в СП 333.1325800.2017, указывается лишь, что при обосновании инвестиций на основе результатов инженерных изысканий следует создавать инженерную цифровую модель местности (ИЦММ), которая является источником информации для комплексной оценки, анализа инженерно-геологических условий строительного участка и формирования долгосрочных прогнозов на возможные изменения этих условий в период строительства и дальнейшей эксплуатации объектов. Вся геотехника сводится фактически к введению в модель геоподосновы, т. е. ИЦММ, которая состоит из цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации. Геологические и геотехнические аспекты в СП просто не рассматриваются [7].

В иностранной практике также существует проблема малого привлечения геологов и геотехников к формированию единой BIM-модели во время реализации строительных объектов. Согласно аналитическому исследованию о применении современных цифровых технологий среди европейских геотехников в их профессиональной деятельности, все респонденты согласились, что целесообразно включать геологические и геотехнические данные в структуру общей информационной модели. Наиболее часто упоминались такие категории данных, как прочностные характеристики грунтов (37 %), данные полевых исследований (33 %), стратиграфическая характеристика

территории строительства (30 %). В то же время в ответах не упоминалась необходимость информации о скрытых коммуникациях или подземных объектах, располагающихся на исследуемом участке, хотя их наличие может оказать существенное влияние на возникновение непредвиденных ситуаций в процессе строительства [8—10].

В отечественной практике идея внедрения деятельности геологов в единую конструкцию рабочего процесса посредством BIM неоднократно высказывались специалистами ООО НПП «Геотек» [11—13]. Основное предложение в указанных работах — объединение этапов инженерно-геологических изысканий и проектирования в единое целое в рамках концепции BIM, что решало бы проблему отсутствия взаимодействия как между изыскателями, так и между изыскателями, проектировщиками и заказчиками. Однако осуществлению данной концепции препятствует отсутствие и в России, и за рубежом информационных моделей оснований зданий и сооружений, необходимых для проектирования [14].

В настоящее время основания сооружений и зданий проектируются с применением аналитических и числовых решений. Аналитические решения имеют четкий вид и присутствуют в соответствующих сводах правил (СП)¹. Численные методы расчета оснований сложны, не регламентированы ГОСТ и зачастую требуют определения большего количества характеристик и параметров моделей грунтов, а также проверки достоверности посредством аналитических решений [11].

Следовательно, возникает потребность разработки комплексной технологии инженерно-геологических изысканий, включающей в себя возможности как определения физико-механических характеристик грунтов, так и расчета оснований по предельным состояниям. Подобная идея высказывалась и получила одобрение на заседании Комитета по конструктивным, инженерным и технологическим системам НОПРИЗ, прошедшем 19 декабря 2018 г.²

Данная комплексная технология инженерно-геологических исследований соответствует активно разрабатываемой в последнее время BIM-технологии. Специалистами ООО НПП «Геотек» предложено проектное наименование — 3D-геотехника или Geotechnical Building Information Modeling (GBIM) (возможно применение термина BIMG). GBIM представляет собой совокупность измерительной и информационной систем, способную выполнять сбор, анализ и интерпретацию данных измерений с одновременным расчетом оснований фундаментов аналитическими и численными методами [15].

Таким образом, применительно к инженерно-геологическим изысканиям можно говорить о создании трехмерной цифровой инженерно-геологической модели (ЦИГМ), где сама модель будет представлять массив грунта с известными параметрами геометрии, выделенными инженерно-геологическими

¹ СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2011. 166 с.
СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. М.: Минрегион России, 2011. 90 с.

СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М.: Минрегион России, 2012. 124 с.

² Протокол № 9 заседания Комитета по конструктивным, инженерным и технологическим системам Национального объединения изыскателей и проектировщиков. Москва, 19.12.2018.

элементами, условиями гидрогеологии, а также физико-механическими свойствами грунтов (рис. 1) [16].

Первые ЦИГМ известны с 1993—1994 гг. и применялись при разведке нефтяных и газовых месторождений [17].

При формировании ЦИГМ активно используется цифровая модель рельефа — трехмерное отображение земной поверхности в виде массивной общности точек с определяемым параметром высоты. При внедрении на стадии проектирования в ЦИГМ сведений о расположении конструкций фундамента или всего здания модель преобразуется и получает статус цифровой геотехнической модели (ЦГМ) [16].

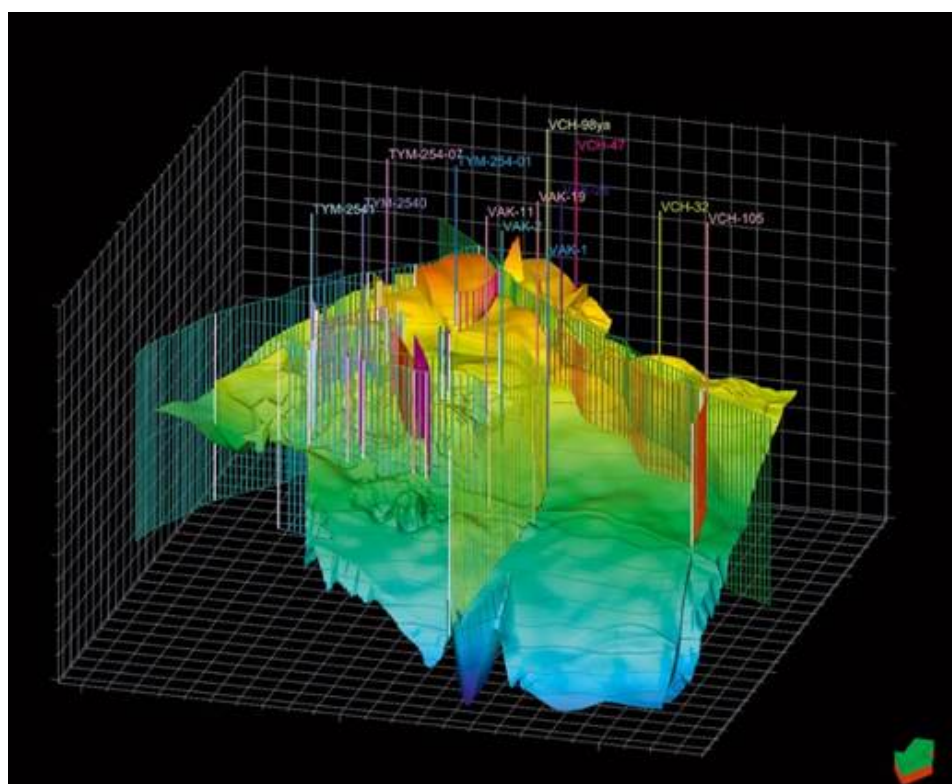


Рис. 1. Цифровая инженерно-геологическая модель [16]

ЦГМ представляет собой трехмерную модель, включающую сведения о конструкции фундамента, здания совместно с фундаментом, внешних нагрузках и методах расчета оснований (рис. 2).

Исходя из вышесказанного, термин GBIM можно определить так: трехмерная цифровая информационная модель с набором компонент, характеризующих стратиграфию, физико-механические свойства грунтов в основании строительного объекта. Однако в своей сути GBIM является гораздо большим, чем просто информационная модель, и скорее представляет из себя технологию, которая содержит как геотехническую модель, так и набор технических и программных средств для получения и анализа информации инженерно-геологических и геотехнических исследований [16].

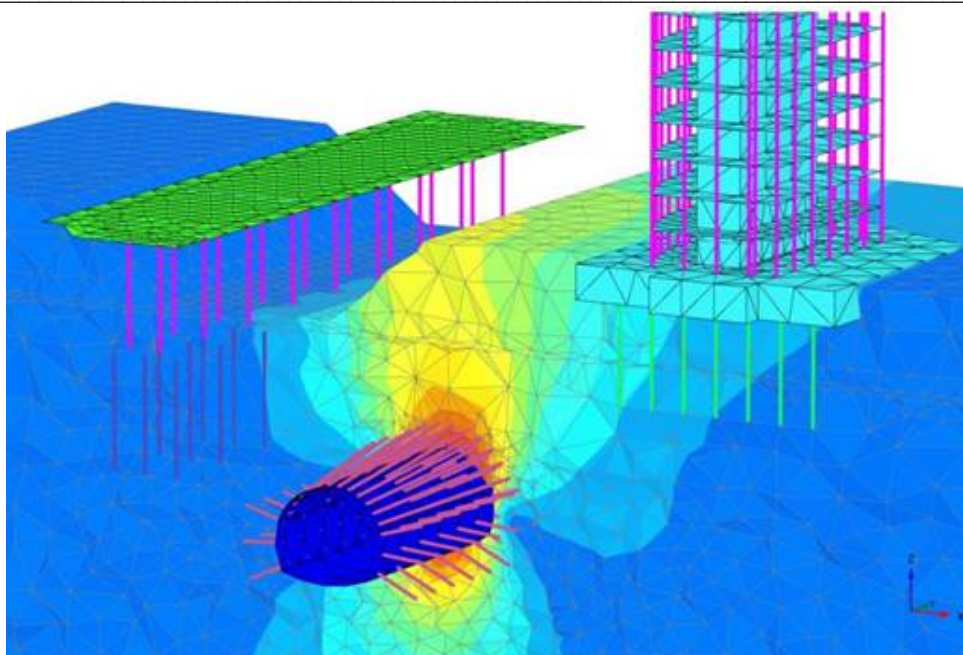


Рис. 2. Цифровая геотехническая модель [16]

Таким образом, технология GBIM включает в себя следующие важные этапы, за счет которых и строится итоговая ЦГМ.

Этап 1. Определение состава и объема инженерно-геологических изысканий. Данный этап определяется программой, которая является обязательной согласно требованиям СП 47.13330.2016 и СП 446.1325800.2019. Состав и объем изысканий зависят от стадии подготовки документов для дальнейшего проектирования. До начала инженерно-геологических изысканий нужно иметь ситуационный план площадки или трассы, на которой будут проходить изыскания, необходимо определить требуемое количество выработок и точек зондирования, задать тип фундамента, его параметры, выбрать способ бурения скважин и отбора монолита грунта, метод зондирования и пр. В рамках GBIM-технологии все эти сведения вносятся в программу заранее, до выхода в поле и оперативно используются во время дальнейшей работы.

Этап 2. Исследования свойств грунтов. Большинство требуемых физико-механических характеристик грунтов для проектирования оснований зданий и сооружений можно определять как в условиях лабораторий, так и в поле³.

³ ГОСТ 12248—2011. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М. : Росстандарт, 2010. 69 с.

ГОСТ 19912—2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. 2012. М. : ОАО НИЦ «Строительство», 24 с.

ГОСТ 20276—2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. М. : ОАО НИЦ «Строительство», 2012. 50 с.

ГОСТ 20522—2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М. : ОАО НИЦ «Строительство», 2013. 20 с.

ГОСТ 34.003—90. Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения, ГОСТ от 27 декабря 1990 года № 34.003-90. М, 26 с.

Однако лабораторные испытания могут занимать длительное время, в результате чего информация может быть получена со значительной задержкой. Более привлекательным является определение свойств грунтов в условиях поля, например с использованием методов статистического, динамического, бурового зондирования, испытаний винтовым штампом, зонального зондирования и др. Более широкое применение как в зарубежной, так и отечественной практике находит метод статистического зондирования (СРТ — cone penetration test)⁴. Данный метод показал свою надежность и эффективность более чем за 70-летнюю историю применения [18—20].

Этап 3. Построение ЦИГМ. После того как определены типы и характеристики грунтов в изучаемом массиве, можно провести работы по построению цифрового инженерно-геологического разреза (2D geological model) по выбранному направлению на ситуационном плане. В итоге будет получено двумерное поле распределения выбранной характеристики грунта или типа грунта. Далее, используя трехмерную сетку и значения типа грунта или его характеристики в элементах сетки, можно построить трехмерную ЦИГМ — 3D geological model.

Этап 4. Построение ЦГМ. ЦГМ строится на основе ЦИГМ. Различие в том, что для построения ЦГМ необходимо «врезать» в ЦИГМ конструкцию фундамента или здания совместно с фундаментом, конструкцию тоннеля, конструкцию ограждения и др.

В результате реализации данных этапов можно построить единую GBIM-модель, включающую сведения о построении на каждом из этапов. Однако для нормального функционирования подобной технологии необходимо решить существенную проблему хранения и передачи информации в электронном формате. В России в настоящий момент нет единого и стандартизированного формата передачи данных инженерно-геологических и геотехнических исследований между участниками проекта, что фактически сводит на нет все попытки проработки GBIM-технологии. В качестве решения проблемы можно обратиться к зарубежному опыту, где существуют необходимые форматы [11].

Для оптимизации передачи информации между участниками BIM-процессов существует открытый международный стандарт EN ISO 16739 «Industry Foundation Classes» (IFC), направленный на обмен и управление информацией по объектам строительства. Это стандарт для обмена и совместного использования BIM-данных разными участниками того или иного строительного проекта, работающих в различных программных приложениях, а также для управления этими данными. В качестве стандартов, применяющихся для передачи геотехнической информации за рубежом, можно назвать Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (AGS), разработанный в Англии, и Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (DIGGS), разработанный в США.

Формат AGS содержит в себе информацию по описанию грунтов, условий их генезиса, описанию и результатам лабораторных и полевых исследований и пр. Данные обладают качественной классификацией и систематизацией.

⁴ ГОСТ Р. 2018. Грунты. Метод полевых испытаний мерзлых грунтов термостатическим зондированием. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174723>.

Формат документирован и обладает широкой поддержкой среди специализированного ПО, что позволяет пользователям передавать информацию о инженерно-геологических изысканиях от одного участника к другому, сохраняя целостность и упорядоченность информации⁵.

DIGGS представляет крупный проект, основной целью которого является разработка схем XML для описания данных, полученных при исследовании поверхности земли. Дословный перевод расшифровки аббревиатуры звучит как «Обмен данными специалистов инженерной геологии и геоэкологии», что указывает на основную цель формата — передачу информации. Формат обладает совместимостью с ПО и является некоммерческим продуктом⁶.

Таким образом, решение проблемы отсутствия в российском сегменте формата передачи инженерно-геологических и геотехнических исследований сделает возможным внедрение и использование технологии GBIM, способной решить ряд задач, а именно:

- обеспечить объединение в единую функционирующую систему инженерно-геологические изыскания и проектирование оснований с применением СП и численных методов расчета;
- сократить сроки выполнения инженерно-геологических изысканий и проектирования оснований;
- визуализировать данные инженерно-геологических изысканий и результатов расчета оснований, что повысит качество анализа результатов и выявления ошибок;
- сократить сроки внесения изменений в документацию.

Одной из приоритетных задач применения BIM-технологий, обосновывающих затраты на первоначальных этапах ее внедрения в производственные процессы, является построение достоверной модели строительного объекта. Подобная модель не может являться достоверной без включения в нее важной геологической и геотехнической информации, такой как: механические и физические свойства грунтов, их пространственное распределение и изменение, данные по грунтовым водам и др. Вся эта информация вместе с данными проектировщиков, архитекторов, конструкторов и других специалистов делает итоговую BIM-модель наиболее полной и эффективной, что имеет приоритетное значение для обеспечения надежного, безопасного и эффективного функционирования и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Berdiglyjov M., Popa H.* The implementation and role of geotechnical data in BIM process // E3S Web of Conferences 2019. Vol. 85. Pp. 1—8.
2. *Bryde D., Broquetas M., Volm J. M.* The project benefits of building information modeling (BIM) // International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31. No 7. Pp. 971—980.
3. *Race S.* BIM demystified: an architect's guide to building information modeling/management (BIM). London : RIBA Publishing, 2012. 159 p.
4. *Талапов В. В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М. : ДМК Пресс, 2011. 392 с.
5. BIM-стандарт промышленные объекты: BIM-стандарт и набор сопутствующих практических шаблонов для проектных организаций и служб технического заказчика, применяющих в своих рабочих процессах технологию BIM. Версия 1.0. М. : Autodesk, 2018. 103 с.

⁵ AGS. URL: <https://www.ags.org.uk>.

⁶ DIGGS. URL: <https://www.geoinstitute.org/special-projects/diggs>.

6. Флеенко А. С., Демьяненко А. Ф. Разработка методики перехода к технологиям информационного моделирования в инженерных изысканиях (на примере инженерно-экологических изысканий) // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2021. Т. 19. № 3. С. 71—82.
7. Разводовский Д. Е., Шулятьев С. О., Ставницер Л. П. Применение BIM в геотехнике // Жилищное строительство. 2018. № 11. С. 3—8.
8. Tawelian L. R., Mickovski S. B. The Implementation of Geotechnical Data Into the BIM Process // Proceedings Engineering The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016). Advances in Transportation Geotechnics 3. 2016. Vol. 143. Pp. 734—741.
9. State-of-the-Art Paper (SOA-1): GeoMaterial Behavior and Testing / P. W. Mayne, M. R. Coop, S. Springman, F. B. Huang, J. Zornberg // Proceedings of the 17th ICSMGE. Rotterdam, Netherlands, 2009. Vol. 4. Pp. 2777—2872.
10. Morin G., Hassall S., Chandler R. Case study — the real life benefits of geotechnical building information modelling // Advances in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Vol. 3. Information Technology in Geo-Engineering. IOS Press, 2014. Pp. 95—102.
11. Болдырев Г. Г., Дивеев А. А. К вопросу использования информационных систем при изысканиях и проектировании оснований фундаментов зданий и сооружений // Геоинфо. URL: <https://geoinfo.ru/product/boldyrev-gennadij-grigorevich/k-voprosu-ispolzovaniya-informacionnyh-sistem-pri-izyskaniyah-i-proektirovanii-osnovanij-fundamentov-zdaniij-i-sooruzhenij-42530.shtml>.
12. Болдырев Г. Г., Идрисов И. Х. Комплексная технология инженерно-геологических исследований и проектирования оснований // Геоинфо. URL: <https://geoinfo.ru/products-pdf/kompleksnaya-tekhnologiya-inzhenerno-geologicheskikh-issledovanij-i-proektirovaniya-osnovanij.pdf>.
13. Основные направления в развитии инженерно-геологических изысканий на период 2012—2020. Калуга : НОИЗ, 2012.
14. Информационные системы в геотехнике — 3D геотехника / Г. Г. Болдырев, В. А. Барвашов, В. И. Шейнин, В. И. Каширский, И. Х. Идрисов, А. А. Дивеев // Геотехника. 2019. Т. XI. № 2. С. 6—27.
15. Болдырев Г. Г., Идрисов И. Х., Редин А. В., Дивеев А. А. BIM-геотехника и перспективы ее развития в Российской Федерации // Геотехника. 2020. Т. XII. № 4. С. 6—22.
16. Технология информационного моделирования в геологии и геотехнике // Геоинфо. URL: <https://geoinfo.ru/products-pdf/tekhnologiya-informacionnogo-modelirovaniya-v-geologii-i-geotekhnike.pdf>.
17. Закревский К. Е. Геологическое 3D-моделирование. М. : ООО ИПЦ «Маска», 2009. 375 с.
18. Lunne T., Robertson P. K., Powell J. J. M. Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic. Chapman-Hall Publishers, U.K.; available from EF Spon. Routledge Pub. New York, 1997. 312 p.
19. Рыжков И. Б., Исаев О. Н. Статическое зондирование грунтов. М. : АСВ, 2016. 497 с.
20. Robertson P. K., Cabal K. L. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering 4th Edition. California, Gregg Drilling & Testing, Inc, 2010. 138 p.

© Красильников В. П., Андрианов А. В., Красильников П. А., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Красильников В. П., Андрианов А. В., Красильников П. А. Об актуальности применения BIM-технологии в инженерно-геологических изысканиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 263—271.

Об авторах:

Красильников Виталий Павлович — старший преподаватель каф. региональной и нефтегазовой геологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ). Российская Федерация, 614590, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Андрианов Андрей Владимирович — аспирант каф. инженерной геологии и охраны недр, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ). Российская Федерация, 614590, г. Пермь ул. Букирева, 15

Красильников Павел Анатольевич — д-р геол.-минерал. наук, проф. каф. инженерной геологии и охраны недр, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ). Российская Федерация, 614590, г. Пермь, ул. Букирева, 15; geolnauka@gmail.com

Vitaly P. Krasilnikov, Andrey V. Andrianov, Pavel A. Krasilnikov

Perm State University

ON THE RELEVANCE OF BIM-TECHNOLOGY IN GEOTECHNICAL SURVEYS

The introduction of BIM-technology in the design and construction of buildings and structures is a logical response to the ever-increasing demands of the industrial and construction industry. One of the priority tasks of BIM-technology application, justifying the costs at the initial stages of its implementation in the production processes, is to build a reliable model of the construction object. Most of the concept of digital information modeling is tied to the description of information characteristics of the structure at different stages of its life cycle, and combines the work of a large number of specialists, such as designers, architects, designers, etc. But at the same time the activity of geologists providing engineering-geological survey is often considered as a separate stage of designing not included in the united system that reduces the efficiency of work and eventually increases the construction terms. This problem could be solved by incorporating the activities of geologists into a single design workflow by means of BIM-technologies.

Key words: BIM-technologies, digital information modeling, geotechnics, foundations, engineering-geological foundations, geotechnical model.

For citation:

Krasilnikov V. P., Andrianov A. V., Krasilnikov P. A. [On the relevance of BIM-technology in geotechnical surveys]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 263—271.

About authors:

Vitaly P. Krasilnikov — Senior Lecturer of Regional and Petroleum Geology Department, Perm State University. 15, Bukireva st., Perm, 614590, Russian Federation

Andrey V. Andrianov — Postgraduate student, Perm State University. 15, Bukireva st., Perm, 614590, Russian Federation

Pavel A. Krasilnikov — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Perm State University. 15, Bukireva st., Perm, 614590, Russian Federation; geolnauka@gmail.com

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 **Е 29507**.
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-
дия. ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолгГТУ по адресу:
<https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/seriya-stroitelstvo-i-arkhitektura/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2023. Выпуск 2(91)**

Корректор *Р. А. Жулите*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 08.08.2023. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 13,5. Усл. печ. л. 23,9. Тираж 500 экз. Заказ № 95

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