

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Вып. 5(93) **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

- Габова В. В., Родионов А. В., Сиротенко О. О.** Исследование поведения конструкций высотных зданий при воздействии ветровых нагрузок 5
- Голиков А. В., Терновой В. А., Якимив П. В.** Характер развития повреждений и распределения напряженно-деформированного состояния в несущих конструкциях эксплуатируемого покрытия с балочными фермами перекрестной системы 18
- Мазур В. А., Киселева В. О.** Поправочный коэффициент для определения снеговой нагрузки на открытые площадки каре резервуарных парков 31

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

- Артемова С. Г., Чопко А. Г., Русскова В. В.** Совершенствование системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог 42

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчури Т. К., Стефаненко И. В.** Разработка полимерных композиций для внешней гидроизоляции бетонных поверхностей и модификации бетонных составов 51
- Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова В. В., Дергунова Е. С.** Применение ряда бактериальных агентов для восстановления цементных композитов 60

Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Душко О. В., Стефаненко И. В., Санягина Я. А. Формирование ранней структуры и прочности модифицированных цементных материалов	71
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Чебанова С. А., Растяпина О. А. Совершенствование механизма управления режущего аппарата корчевателя	82
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ	
Мельникова Т. В. Анализ сложных технических систем на примере призабойной зоны пласта	90
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Акчурин Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П., Фомичев В. Т., Губаревич А. П. Эколого-экономическое обоснование электрокоагуляционной очистки промывных сточных вод	101
Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю., Абуова Г. Б., Изотов В. В., Москвичева Е. В., Захаров С. С. Экономическое обоснование замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии	111
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Гвоздков А. Н., Дацюк Т. А., Суслова О. Ю. Особенности протекания изотальпийных процессов в системе «воздух — вода» с позиции теории потенциала влажности	121
Гвоздков А. Н., Суслова О. Ю., Ким А. Ю. К вопросу использования хлористого лития в системах кондиционирования воздуха с утилизацией низкопотенциальных вторичных энергоресурсов	130
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА	
Жук П. М. Территориальные критерии в оценке воздействий на окружающую среду по жизненному циклу строительных материалов	140
Копец Ю. В. Способы обращения с твердыми коммунальными отходами на Луганщине	150
Прокопенко В. В. Основные методики оценки зеленого каркаса крупнейшего города	155
Сергина Н. М., Брязгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д. Сравнение уровня загрязнения частицами PM10 и PM2.5 атмосферного воздуха на территориях парков в промышленных городах с разным климатом	168
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Барковская А. Ю., Етеревская И. Н., Юрова О. А., Янушкина Ю. В. Культурное наследие сталинской эпохи: история строительства Волгоградского планетария	179
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА	
Абсиметов В. Э., Козлюк А. Г., Фетисов А. С. Анализ состояния возведенного в 1960—1980-е годы жилого фонда в Центрально-Черноземном районе Российской Федерации для последующей разработки программы реновации	192
Иванова Н. В., Ганжа О. А. Планирование городских территорий с учетом развития системы велотрасс	203
Ястребова Н. А., Етеревская И. Н. Рекреационный комплекс Волгоградской области: региональные особенности и потенциал территориального развития кластеров	214
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
Черешнев И. В., Черешнева Н. В., Черешнев Л. И. Формирование комфортной городской среды на примере благоустройства проспекта Пионеров и сквера Железнодорожников в городе Петров Вал Волгоградской области	223
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ	
Торгашина С. Н., Ереценко Т. В., Ермилова Н. Ю., Панов Д. Б. Формирование профессиональных компетенций в контексте междисциплинарных связей	232
От редколлегии	240

C o n t e n t

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

- Gabova V. V., Rodionov A. V., Sirotenko O. O.** Investigation of the behavior of structures of high-rise buildings under the influence of wind loads 5
- Golikov A. V., Ternovoy V. A., Yakimiv P. V.** The nature of damage development and distribution of the stress-strain state in the load-bearing structures of the operated coating with beam trusses of the cross system 18
- Mazur V. A., Kiseliyova V. O.** Correction coefficient for determining snow load on open areas of tank farms 31

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

- Artemova S. G., Chopko A. G., Russkova V. V.** Improvement of the drainage system from the carriage-way of highways 42

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

- Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V.** Production of polymer compositions for external waterproofing of concrete surfaces and modification of concrete compositions 51
- Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova V. V., Dergunova E. S.** Application of bacterial agents for the restoration of cement composites 60
- Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Dushko O. V., Stefanenko I. V., Sanyagina Ya. A.** Formation of early structure and strength of modified cement materials 71

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

- Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Lyashenko A. A., Chebanova S. A., Rastyapina O. A.** Improvement of the control mechanism of the cutting apparatus of the grubber 82

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION. HYDRAULIC SYSTEM AND ENGINEERING HYDROLOGY

- Melnikova T. V.** Analysis of complex technical systems on the example of a bottomhole formation zone 90

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

- Akchurin T. K., Savchenko A. V., Gubarevich G. P., Fomichov V. T., Gubarevich A. P.** Ecological and economic justification of electrocoagulation treatment of wastewater 101
- Vurdova N. G., Yur'ev Yu. Yu., Abuova G. B., Izotov V. V., Moskvicheva E. V., Zakharov S. S.** Economic justification of closed water circulation cycles at an industrial enterprise 111

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

- Gvozdkov A. N., Datsuk T. A., Suslova O. Yu.** Features of the flow of isenthalpy processes in the air — water system from the position theories of humidity potential 121
- Gvozdkov A. N., Suslova O. Yu., Kim A. Yu.** On the issue of the use of lithium chloride in air conditioning systems with the utilization of low-potential secondary energy resources 130

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Zhuk P. M.** Territorial criteria in assessing environmental impacts according to the life cycle of building materials 140
- Kopets Iu. V.** Ways of management of solid municipal waste in the Luhansk region 150
- Prokopenko V. V.** The main methods of assessing the green framework of the largest city 155
- Sergina N. M., Bryazgina E. O., Sushchenko R. V., Azarova M. D.** Comparison of particle pollution level of PM10 and PM2.5 of atmospheric air in the park areas in industrial cities with different climates 168

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

- Barkovskaya A. Yu., Eterevskaya I. N., Yurova O. A., Yanushkina Yu. V.** The cult heritage of the Stalin era: history of the Volgograd Planetarium construction 179

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

- Absimetov V. E., Kozlyuk A. G., Fetisov A. S.** Analysis of the condition of the housing stock built in the 1960—1980 in the Central Chernozem region of the Russian Federation for the subsequent development of the renovation program 192
- Ivanova N. V., Ganzha O. A.** Planning of urban areas taking into account the development of the cycle track system 203
- Yastrebova N. A., Eterevskaya I. N.** Recreational complex of the Volgograd region: regional characteristics and potential for territorial cluster development 214

GENERAL ARCHITECTURE

- Chereshnev I. V., Chereshneva N. V., Chereshnev L. I.** Formation of a comfortable urban environment on the example of the improvement of Pioneer avenue and the Zheleznodorozhnikov square in the city of Petrov Val, Volgograd region 223

ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

- Torgashina S. N., Ereshchenko T. V., Ermilova N. Yu., Panov D. B.** Formation of professional competencies in the context of interdisciplinary relations 232
- From Editorial Team** 240

УДК 624.042.4

В. В. Габова, А. В. Родионов, О. О. Сиротенко

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

Рассматриваются типы воздействия ветровой нагрузки на несущие конструкции. Представлена характеристика динамических нагрузок. Рассмотрены основные и дополнительные параметры расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, типы ветровой нагрузки, ускорения от ветровой нагрузки, пульсационная составляющая, нормативные значения пульсационной составляющей, жесткость здания.

Инженерные исследования ветровых воздействий в настоящее время являются быстроразвивающейся областью прикладных наук, ставящей перед собой задачу разработки и совершенствования методов учета ветровых нагрузок на здания и сооружения. В ряде случаев эта задача требует особого внимания, поскольку проектируемые объекты часто имеют уникальные с точки зрения аэродинамики архитектурные формы и требуют определенных методов динамического расчета [1, 2].

Современные высотные здания по сравнению с построенными ранее отличаются исключительной гибкостью, легкостью и зачастую обладают слабыми демпфирующими свойствами. Такие сооружения, как правило, характеризуются повышенной чувствительностью к воздействию ветра. Для объектов, высота которых многократно превосходит поперечные в плане размеры, ветровая нагрузка является основной. При расчете на прочность и деформативность возникает необходимость оценки ветровых воздействий с большей степенью точности, чем это требовалось ранее [3, 4].

Нагрузки и воздействия, возникающие при взаимодействии ветра со строительными конструкциями, по своей природе можно разделить на два типа:

- 1) связанные с непосредственным действием на здания и сооружения максимальных для места строительства ураганных ветров;
- 2) вызывающие интенсивные аэроупругие и неустойчивые изгибные, крутильные и изгибно-крутильные колебания.

Воздействия первого типа называются *расчетной ветровой нагрузкой*, она подразделяется на среднюю и пульсационную составляющие [5].

К колебаниям второго типа относятся различные формы аэродинамической неустойчивости сооружений (в частности, применительно к высоким зданиям это могут быть галопирования и дивергенция), а также колебания, связанные со срывом вихрей с внешней поверхности сооружений и приводящие к резонансному вихревому возбуждению сооружения на одной из его собственных частот. Колебания этого типа могут возникнуть в зданиях и сооружениях, высота которых значительно превышает их поперечный размер.

В связи с этим соответствующие воздействия не учитываются при проектировании невысоких зданий¹.

Динамические нагрузки вносят существенный вклад в напряженно-деформированное состояние несущих конструкций зданий.

Динамические характеристики влияют на выбор методов и параметров расчета динамических нагрузок. Результаты динамических расчетов учитывают при принятии конструктивных решений зданий [6—8].

Динамические воздействия снижают комфортное пребывание людей на верхних этажах. Основной величиной, характеризующей комфортность пребывания людей в помещениях многоэтажных зданий, является ускорение конструкций верхних этажей [9, 10].

Таким образом, при проектировании высоких зданий необходимо учитывать следующие воздействия ветра:

- среднюю и пульсационную составляющие расчетной ветровой нагрузки;
- пиковые значения ветровой нагрузки, действующей на конструктивные элементы ограждения;
- резонансное вихревое возбуждение;
- аэродинамические неустойчивые колебания типа галопирования и дивергенции;
- воздействия, приводящие к нарушению комфортности пешеходных зон, прилегающих к проектируемому зданию² [11, 12].

При расчете ускорений от ветровой нагрузки исследуются нормативные значения пульсационной составляющей:

$$w_c = 0,7w_p, \quad (1)$$

где w_p — нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Максимальное ускорение этажа здания при выполнении требования комфортности не должно превышать величины:

$$a_{c.\max} = 0,08 \text{ м/с}^2,$$

где $a_{c.\max}$ — сумма максимальных ускорений по всем основным формам колебаний.

Динамическая ветровая нагрузка формируется на основе исходных данных для расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки, включающих как основные характеристики (количество учитываемых форм колебаний, матрица масс), так и дополнительные параметры (ветровой район, габариты здания, тип местности, логарифмический декремент колебаний, направление ветра по отношению к обдуваемой поверхности) [13, 14] (рис. 1).

¹ МДС 20-1.2006. Временные рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. М.: ФГУП ЦПП, 2006, 27 с.

² Там же.

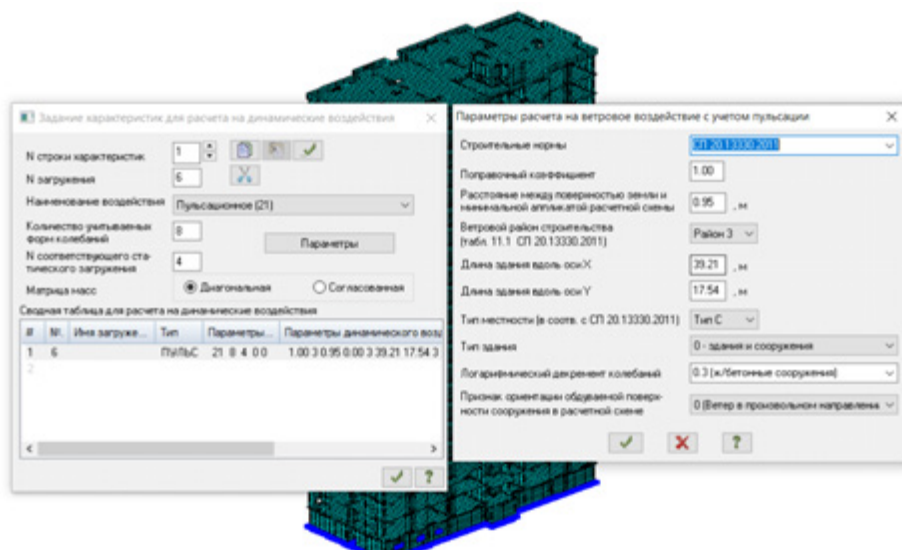


Рис. 1. Исходные данные для расчета пульсационной составляющей ветровой нагрузки: *a* — основные характеристики; *b* — дополнительные параметры расчета

Рассмотрим 21-этажное односекционное жилое здание, многоугольное в плане, с габаритными размерами 40,0×19,5 м, с количеством этажей — 21, а также с цокольным этажом.

Высота рассматриваемого сооружения от поверхности земли до максимально высокой точки (верх парапета) — 68,00 м. Высота цокольного этажа 3,0 м, первого — 3 м, второго и последующих — 3,0 м. По классификации ГОСТ Р 54257—2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» проектируемое здание относится к нормальному уровню ответственности 2. Принимаем значение коэффициента надежности по ответственности $\gamma_n = 1,0$. Степень огнестойкости здания — I. Класс конструктивной пожарной опасности — С0.

Жесткость и устойчивость каркаса при вертикальных и горизонтальных воздействиях обеспечивается монолитным (жестким) сопряжением железобетонных колонн и стен с опирающимися на них монолитными железобетонными перекрытиями и покрытием, которые совместно образуют пространственную монолитную рамную конструкцию. Узлы опирания колонн на монолитную фундаментную плиту приняты жесткими.

В пространственном расчете здания учтена совместная работа всех несущих конструкций: колонн, стен, плит перекрытия и покрытия, монолитной фундаментной плиты. Расчетная схема выбрана в виде системы «сооружение — основание». Это позволяет учесть наиболее существенные факторы, определяющие напряженное состояние и деформации основания и конструкций сооружения (статической схемы сооружения, характера грунтовых напластований, свойств грунтов основания и т. д.) [15, 16].

Для реализации расчетной схемы применен программный комплекс «Ли́ра-САПР». Комплекс предназначен для численного исследования пространственных строительных конструкций на прочность, устойчивость

и колебания методом конечных элементов и их автоматизированного конструирования. Шаг конечных элементов принят 0,5 м.

Жесткостные характеристики элементов заданы с учетом их геометрических размеров и материалов. Жесткость здания — отсутствие изменений в его структуре при качании здания от динамических воздействий и воздействия ветра или под влиянием других видов колебательных воздействий.

В некоторых случаях жители многоэтажных зданий даже при допустимых пределах колебаний воспринимают это воздействие, вызывающее негативные ощущения. Поэтому помимо прочности необходимо обеспечить достаточную жесткость здания [17, 18].

Здание испытывает неизбежные колебательные движения под воздействием шквальных ветровых и сейсмических нагрузок. Целью проектирования в этих условиях является создание многоэтажного здания, обладающего возможностью к восприятию действующих нагрузок в соответствии с нормами и удовлетворяющего требованиям комфортного проживания [19, 20].

Пределы значений ускорений колебательного движения позволяют выделить 8 уровней воздействия на человека (табл. 1).

Таблица 1

Уровни воздействия колебательных процессов на жизнедеятельность человека

Уровень	Значение ускорения (м/с ²)	Влияние на человека
1	< 0,05	За порогом чувствительности
2	0,05...0,10	Легкое покачивание подвешенных предметов
3	0,10...0,25	Ощутимое качание, вызывающее чувство дискомфорта
4	0,25...0,4	Колебательное воздействие вызывает трудности при письме
5	0,4...0,5	Потеря равновесия
6	0,5...0,6	Большинство людей не могут сами ходить
7	0,6...0,7	Критическое воздействие на организм человека
8	> 0,85	Падение предметов, угроза возникновения обрушений и завалов

В «Технической инструкции по проектированию конструкций высотных зданий» (JGJ3-2002) и «Технической инструкции по проектированию металлических конструкций высотных зданий» (JGJ99-98)³ определены условия комфортности для помещений высотных зданий повышенной этажности. Согласно нормам «Нагрузки на строительные конструкции» (GB50009-2001)⁴ предусматривается проводить расчет ветровой нагрузки не реже 1 раза

³ Техническая инструкция по проектированию конструкций высотных зданий. JGJ3-2002. URL: https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhicheskie-stati/proektirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy/raschet-na-oprokidyvanie-zdaniya.

Промышленный стандарт Народной Республики (JGJ 99-98): технические условия на стальные конструкции высотных зданий. URL: <https://www.abebooks.com/People-Republic-industry-standard-JGJ-99-98/8173320878/bd>.

⁴ Нагрузки на строительные конструкции. GB50009-2001. URL: <https://standardsofchina.com/standard/GB50009-2001>.

в 10 лет. На основании опытов со специальными отверстиями внутри высотных зданий было определено максимальное предельное ускорение a_{\max} (табл. 2)⁵.

Таблица 2

Предельные ускорения колебательного движения

Назначение	$a_{\max}, (m/s^2)$
Жилой дом	0,15
Офис, гостиница	0,25

Расчетная модель здания в ПК «Лира-САПР» представлена в следующем виде на рис. 2.

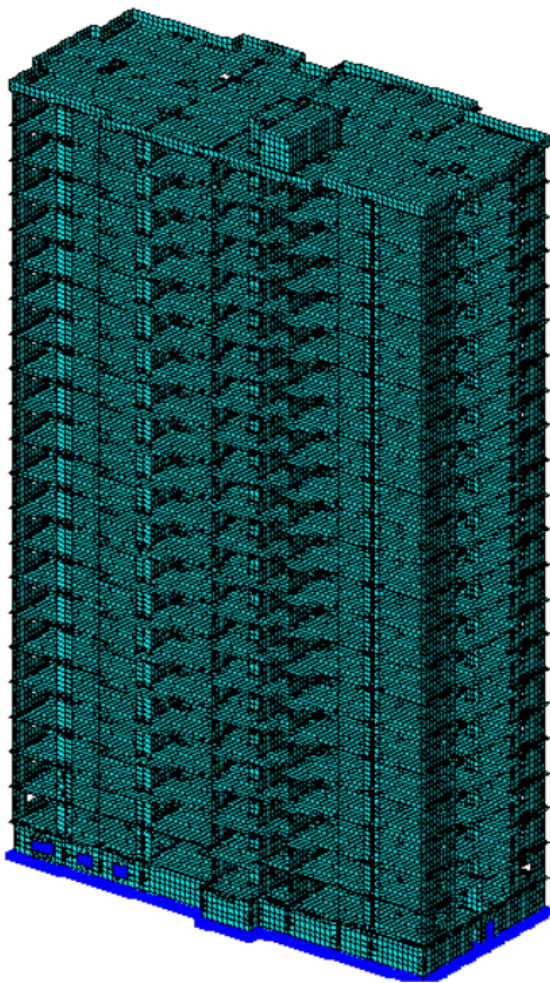


Рис. 2. Расчетная модель здания в ПК «Лира-САПР»

⁵ Жесткость многоэтажных зданий при воздействии ветровой нагрузки. URL: https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/proektirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy/zhestkost-mnogoetazhnykh-zdaniy-pri-vozdeystvii-ve.

Нормативное значение ветровой нагрузки определяем по СП 20.13330.2011 (п. 11.1.2)⁶:

$$w = w_m + w_g, \quad (2)$$

где w_m — нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки, в зависимости от эквивалентной высоты z_b над поверхностью земли следует определять по формуле (п. 11.1.3):⁷

$$w_m = w_0 k(z_b) c, \quad (3)$$

где w_0 — нормативное значение ветрового давления (п. 11.1.4); $k(z_b)$ — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_b (пп. 11.1.5, 11.1.6), принимаем по таблице 11.2; c — аэродинамический коэффициент (п. 11.1.7)⁸.

Нормативное значение ветрового давления w_0 принимается в зависимости от ветрового района по таблице 11.1. Для Волгограда, согласно карте 2 приложения Е, находящегося в ветровом районе III, $w_0 = 0,38 \text{ кПа}$ ⁹.

Проведем расчет ветровой нагрузки (рис. 3—7). Исходные данные для расчета:

$$\begin{aligned} b &= 17,54 \text{ м;} \\ d &= 39,21 \text{ м;} \\ 2h &= 2 \cdot 63,72 = 127,44 \text{ м.} \end{aligned}$$

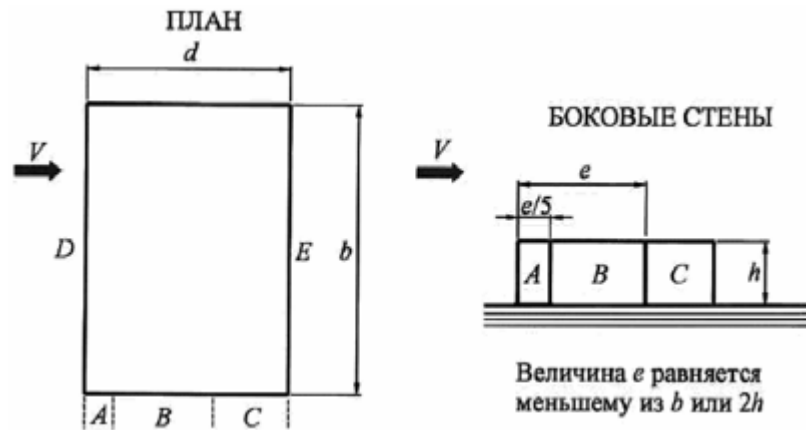


Рис. 3. Схема участков для расчета ветровой нагрузки

⁶ СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. М.: Министерство регионального развития РФ, 2011. 76 с.

⁷ Там же.

⁸ Там же.

⁹ Там же.

Соответственно: $e = b = 17,54$ м;

$$A = \frac{e}{5} = \frac{17,54}{5} = 3,508 \text{ м};$$

$$B = e - \frac{e}{5} = 17,54 - \frac{17,54}{5} = 14,032 \text{ м};$$

$$C = d - e = 39,21 - 17,54 = 21,67 \text{ м};$$

$$D, E = b = 17,54 \text{ м};$$

$$w_0 = 0,38 \text{ кПа};$$

$$k(5) = 0,4;$$

$$k(10) = 0,4;$$

$$k(20) = 0,55;$$

$$k(40) = 0,8;$$

$$k(60) = 1;$$

$$k(63, 72) = 1,028.$$

Участок А:

$$w_m(5) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (-1) = -0,152 \text{ кПа};$$

$$w_m(10) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (-1) = -0,152 \text{ кПа};$$

$$w_m(20) = 0,38 \cdot 0,55 \cdot (-1) = -0,209 \text{ кПа};$$

$$w_m(40) = 0,38 \cdot 0,8 \cdot (-1) = -0,304 \text{ кПа};$$

$$w_m(60) = 0,38 \cdot 1 \cdot (-1) = -0,38 \text{ кПа};$$

$$w_m(63, 72) = 0,38 \cdot 1,028 \cdot (-1) = -0,391 \text{ кПа}.$$

Участок В:

$$w_m(5) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (-0,8) = -0,122 \text{ кПа};$$

$$w_m(10) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (-0,8) = -0,122 \text{ кПа};$$

$$w_m(20) = 0,38 \cdot 0,55 \cdot (-0,8) = -0,167 \text{ кПа};$$

$$w_m(40) = 0,38 \cdot 0,8 \cdot (-0,8) = -0,243 \text{ кПа};$$

$$w_m(60) = 0,38 \cdot 1 \cdot (-0,8) = -0,304 \text{ кПа};$$

$$w_m(63, 72) = 0,38 \cdot 1,028 \cdot (-0,8) = -0,313 \text{ кПа}.$$

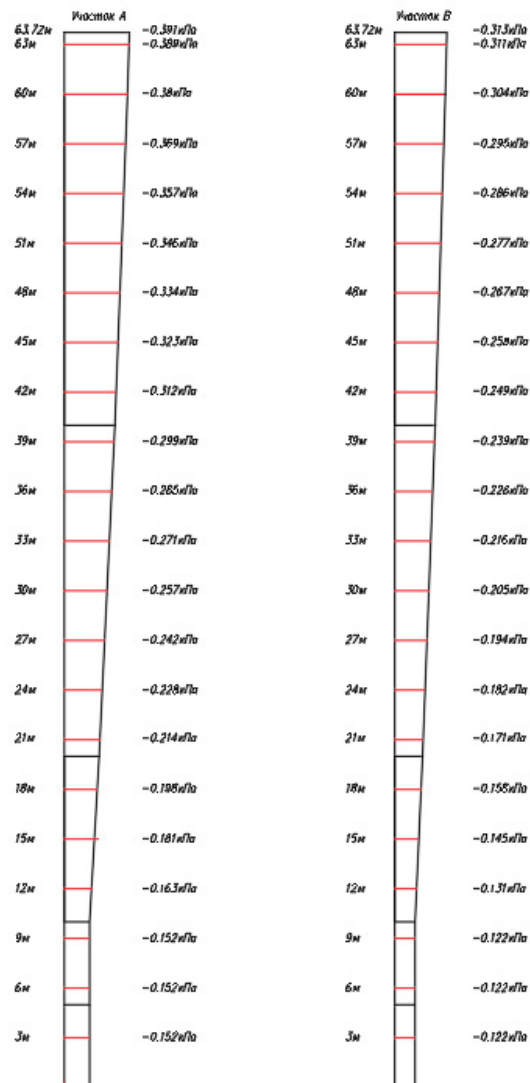


Рис. 4. Участки А, В

Участки С, Е:

$$w_m(5) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (-0,5) = -0,076 \text{ кПа};$$

$$w_m(10) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (-0,5) = -0,076 \text{ кПа};$$

$$w_m(20) = 0,38 \cdot 0,55 \cdot (-0,5) = -0,104 \text{ кПа};$$

$$w_m(40) = 0,38 \cdot 0,8 \cdot (-0,5) = -0,152 \text{ кПа};$$

$$w_m(60) = 0,38 \cdot 1 \cdot (-0,5) = -0,19 \text{ кПа};$$

$$w_m(63,72) = 0,38 \cdot 1,028 \cdot (-0,5) = -0,195 \text{ кПа}.$$

Участок D:

$$w_m(5) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (0,8) = 0,122 \text{ кПа};$$

$$w_m(10) = 0,38 \cdot 0,4 \cdot (0,8) = 0,122 \text{ кПа};$$

$$w_m(20) = 0,38 \cdot 0,55 \cdot (0,8) = 0,167 \text{ кПа};$$

$$w_m(40) = 0,38 \cdot 0,8 \cdot (0,8) = 0,243 \text{ кПа};$$

$$w_m(60) = 0,38 \cdot 1 \cdot (0,8) = 0,304 \text{ кПа};$$

$$w_m(63,72) = 0,38 \cdot 1,028 \cdot (0,8) = 0,313 \text{ кПа}.$$

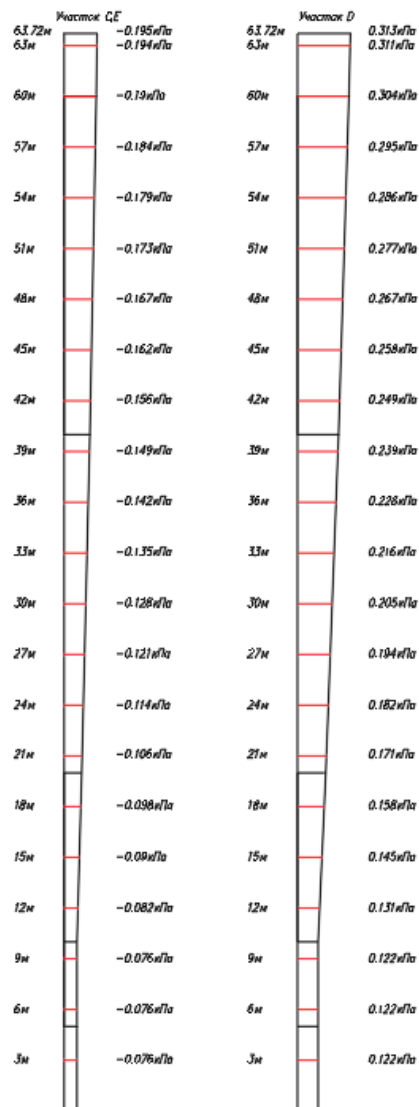


Рис. 5. Участки C, E, D

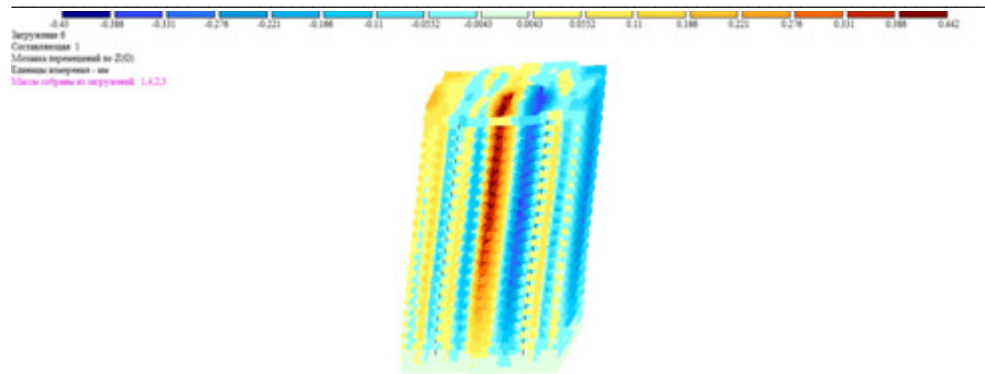


Рис. 6. Перемещения по оси Z (6-е загрузеие)

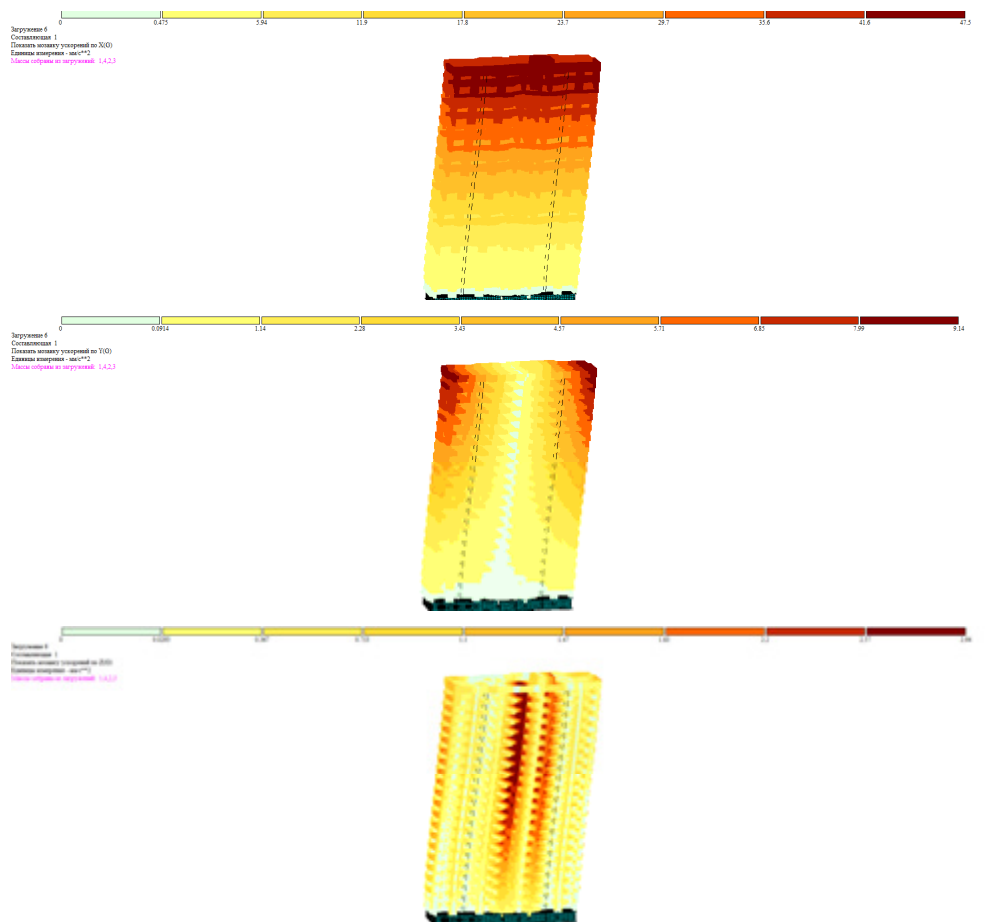


Рис. 7. Мозаика ускорений $a(x)$, $a(y)$, $a(z)$ (6-е загрузеие)

При превышении допустимой нормативной величины максимального ускорения необходимо откорректировать конструктивную схему каркаса здания.

Следует отметить, что регулирование динамических характеристик способом изменения жесткостных параметров элементов каркаса является неэф-

фактивным для зданий высотой до 75 м. В таких случаях необходимо варьировать расстановку диафрагм жесткости в соответствии с центром тяжести сооружения и использовать способ изменения расположения сосредоточенных масс [13].

Недостаток знаний о действии ветровой нагрузки на сооружение может привести к обрушению высотных зданий. Основными причинами аварийных ситуаций, связанных с ветровой нагрузкой, могут быть ошибки в назначении величины расчетной ветровой нагрузки, вибрация конструкций, а также учет аэродинамических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ignatiev A. V.* Obtaining the dynamic frequency equation for the plate calculation by the Finite Element Method in the form of a classical mixed method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 456. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/456/1/012110/pdf>.
2. *Игнатьев В. А., Игнатьев А. В.* Решение плоской задачи теории упругости по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31-2(50). С. 337—343.
3. Экспериментальное исследование распределения аэродинамических коэффициентов на высотное здание / А. А. Сатанов, М. Л. Поздеев, А. В. Симонов, А. П. Помазов, П. А. Хазов // Приволжский научный журнал. 2022. № 3. С. 43—51.
4. *Габова В. В., Игнатьев В. А.* Расчет стержневой системы на динамические воздействия с применением метода конечных элементов // X региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. Волгоград, 2006. С. 11.
5. *Игнатьев В. А., Игнатьев А. В., Габова В. В.* Динамика сооружений: учеб. пособие. Волгоград; ВолгГАСУ, 2015. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008593993>.
6. *Кравченко Г. М., Труфанова Е. В., Шутенко Е. О., Хашихожев К. Н.* Динамический расчет объекта «Спортивно-оздоровительный комплекс» // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3279.
7. *Игнатьев В. А., Игнатьев А. В.* Расчет геометрически нелинейных плоских шарнирно-стержневых систем по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 34(53). С. 82—89.
8. *Vosoughi A. R.* A mixed finite element and improved genetic algorithm method for maximizing buckling load of stiffened laminated composite plates // Aerospace Science and Technology. 2017. Vol. 70. Pp. 378—387.
9. *Кадисов Г. М.* Динамика и устойчивость сооружений. М.: АСВ, 2007. 272 с.
10. *Масленников А. М.* Основы динамики и устойчивости сооружений. М.: АСВ, 2000. 201 с.
11. *Ignatiev A. V., Ignatiev V. A.* Specific features and advantages of the finite element method in the form of classical mixed method as an alternative for the traditional finite element method // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Vol. 10. No. 4. Pp. 121—124.
12. *Игнатьев В. А., Игнатьев А. В.* Расчет плоских рам с большим перемещением узлов по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода // Строительство и реконструкция. 2015. № 2(58). С. 12—19.
13. *Кравченко Г. М., Труфанова Е. В., Тронин Д. И.* Исследование динамических характеристик каркаса здания методом конечных элементов // Строительство и архитектура. 2019. № 1. С. 39—44.
14. Probabilistic method for service life estimation of reinforced concrete roof trusses of operated industrial building / V. A. Pshenichkina, K. N. Sukhina, V. V. Drozdov, V. S. Babalich, K. A. Sukhin, A. N. Zhukov // International Review of Civil Engineering. 2016. Vol. 7. No. 6. Pp. 158—163.
15. *Ignatiev A. V., Ignatiev V. A.* The mathematical modeling of the incomplete algebraic eigenvector and eigenvalue problem for obtaining the reduced frequency equation and its solution //

IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 456.
URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/456/1/012109/pdf>.

16. *Ignatiev A. V., Ignatiev V. A.* Modified Algorithm for the Analysis of Thin Plates by the Finite Element Method in the Form of the Classical Mixed Method // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150. Pp. 1766—1770.

17. *Ignatiev A. V., Ignatiev V. A., Onishchenko E. V.* Analysis of Flexible Bars and Frames with Large Displacements of Nodes By Finite Element Method in the Form of Classical Mixed Method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 262.
URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012049>.

18. *Игнатьев А. В.* Метод конечных элементов в форме классического смешанного метода (особенности и возможности применения) // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2015. № 3(260). С. 55—60.

19. *Pshenichkina V. A., Politov S. I., Chirkov A. A.* Experimental and Theoretical Rationale for Maximum Loading with a Specified Degree of Risk when Simulating the Operation of a «Bed-Foundation-Superstructure» System // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2016. Vol. 52. Iss. 6. Pp. 311—316.

20. *Цуканова Е. С.* Совершенствование методов расчета колебаний стержневой системы на основе динамического конечного элемента: дис.... канд. техн. наук. Брянск : БГТУ, 2017. 91 с.

© *Габова В. В., Родионов А. В., Сиротенко О. О., 2023*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

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

Об авторах:

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

Родионов Антон Вячеславович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; IToshka@yandex.ru

Сиротенко Олег Олегович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olegsirotenko28@yandex.ru

Victoria V. Gabova, Anton V. Rodionov, Oleg O. Sirotenko

Volgograd State Technical University

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF STRUCTURES OF HIGH-RISE BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE OF WIND LOADS

The article discusses the types of impact of wind load on load-bearing structures. The characteristic of dynamic loads is presented. The main and additional parameters of the calculation of the pulsation component of the wind load are considered.

Key words: wind load, types of wind load, acceleration from wind load, pulsation component, normative values of the pulsation component, rigidity of the building.

For citation:

Gabova V. V., Rodionov A. V., Sirotenko O. O. [Investigation of the behavior of structures of high-rise buildings under the influence of wind loads]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 5—17.

About authors:

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

Anton V. Rodionov — Master's Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; IToshka@yandex.ru

Oleg O. Sirotenko — Master's Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olegsirotenko28@yandex.ru

УДК 692.48

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

Волгоградский государственный технический университет

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

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

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

Введение

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

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

Достижение цели реализуется путем решения следующих **задач**:

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

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

Предмет исследования и **научная новизна** состоят в установлении явления распределения коррозионного повреждения стальных поясов в составе

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

Характеристика конструктивных решений

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

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

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

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

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

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

Здание имеет сборный железобетонный каркас и достаточно протяженную форму, по длине здание разделено на 4 блока. В зоне деформационного шва стальные фермы марки Ф1-3 смещены от оси 27 на 250 мм и от оси 37 — на 500 мм. Второстепенные фермы по осям 31 и 34 смещены от оси на 250 мм для возможности размещения железобетонного ствола встроенного здания.

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

Кровля выполнена рулонной по сборным железобетонным плитам:

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

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

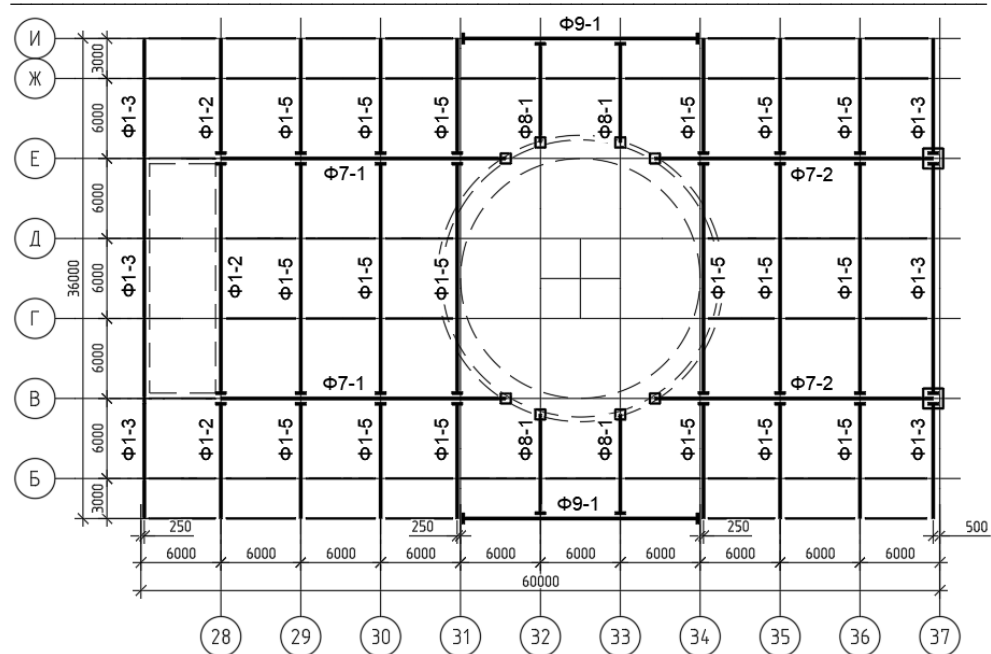


Рис. 1. Схема расположения ферм покрытия

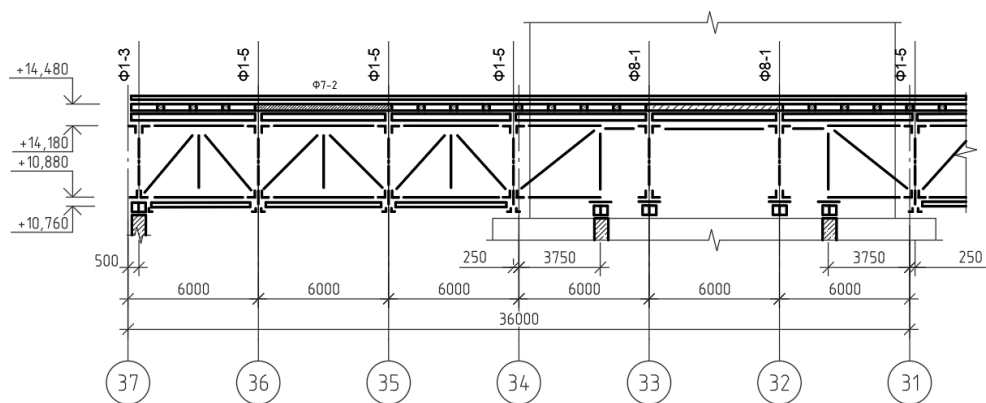


Рис. 2. Продольный разрез по блоку здания

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

Опирающие ребристые плиты выполнены на фермы марок Ф1-5.

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

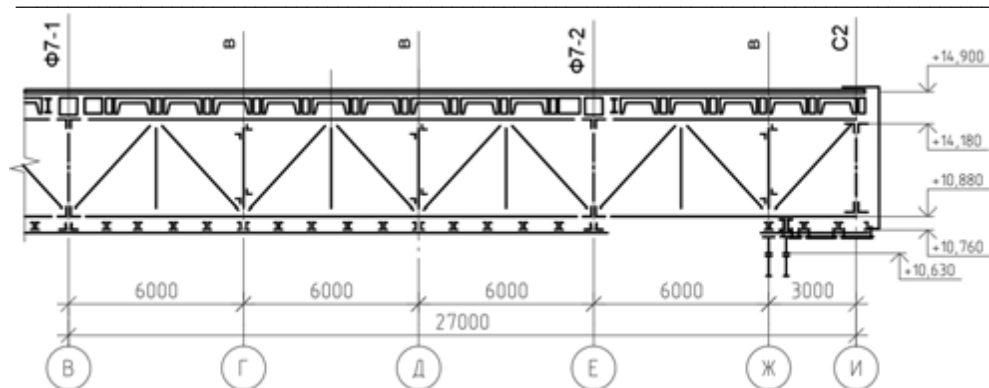


Рис. 3. Поперечный разрез по блоку здания

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

Характеристика реализованных повреждений и дефектов

Характеризующим фактором оценки безопасной эксплуатации здания является классификация и систематизация причин, приводящих к повреждениям. Данными вопросами занимались Г. А. Аратюнян [1], К. К. Нежданов, А. Н. Жуков [2], А. З. Белик [3], Г. И. Белый [4], В. В. Губанов [5], Б. И. Беляев [6], В. С. Бабалич [7]. В статье [8] говорится, что основной причиной развития повреждений является длительная эксплуатация сооружения без надлежащего обслуживания.

Анализируя дефекты и повреждения, реализованные в процессе эксплуатации объекта, можно выделить следующие причины их образования:

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

В ходе обследования объекта выявлены наиболее значимые повреждения и отступления от проекта, влияющие на НДС несущих конструкций покрытия:

- применение сечений, отличных от проекта: применены сечения с меньшей площадью, элементы из стали с меньшим расчетным сопротивлением — вместо элементов из стали С345 применены элементы из стали с расчетным сопротивлением $R_y = 190$ МПа;
- в проекте не предусмотрено устройство горизонтальных связей в уровне нижних сжатых поясов второстепенных ферм в консольных участках, при этом присутствует расцентровка элементов горизонтальных связей рядом с кольцевым участком в уровне верхних поясов ферм;
- по сборным плитам покрытия выполнена усиливающая плита неравномерной толщины — в пролетной части 40 мм, в консольной — 90 мм, предполагаемая причина — прогибы консольных участков при устройстве диска покрытия;
- вес многослойной конструкции кровли достигает $1,1$ т/м² (табл., рис. 4);

- низкое качество бетонных работ в уровне верхних поясов ферм, оголение рабочей арматуры, толщина защитного слоя бетона не соответствует требованиям нормативных документов;
- обширные площади замачивания, причинами которых являются отсутствие плановых ремонтных работ по восстановлению кровельного ковра, а также протечки ливневой канализации.

Нагрузка от многослойной конструкции кровли

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

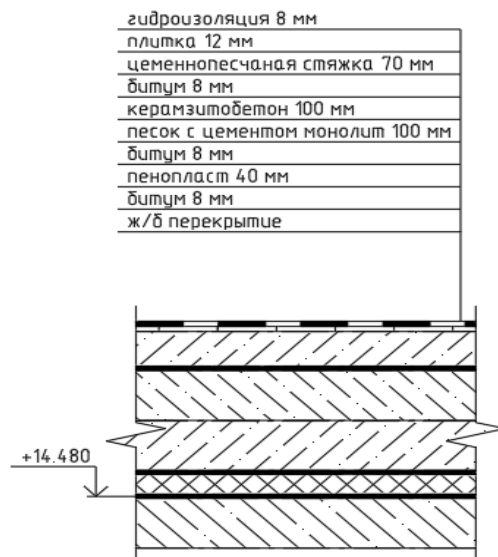


Рис. 4. Состав покрытия

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

- искривления раскосов стрелкой до $f = 3$ мм;
- погнутости элементов ферм до $f = 20$ мм, развившиеся в результате потери устойчивости от реализации неблагоприятных сочетаний нагрузок;
- применение сечений, ослабленных отверстиями, и сечений, выполненных из уголков различных номеров;

- коррозионных износ элементов и отсутствие лакокрасочного покрытия;
- коррозионные повреждения поясов в зоне контакта с железобетонными плитами в результате систематического замачивания (рис. 5);
- отсутствие шпренгелей, раскрепляющих раскосы консольных ферм по осям 32, 33 и предусмотренных проектом по усилению.

Выявленные повреждения стальных конструкций в зоне контакта с железобетонными конструкциями согласуются с результатами работы Н. С. Бузало и Б. А. Черныховского [9].



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

Повреждения конструкций горизонтальных и вертикальных связей:

- повреждение элемента с уменьшением поперечного сечения при устройстве ливневой канализации;
- коррозионный износ горизонтальных связей во фризном пространстве до 20 % толщины уголка.

Повреждения конструкций железобетонного диска покрытия:

- замачивание и выщелачивание поверхности бетона площадью до 10 м²;
- замачивание плит у отверстий ливневой канализации;
- коррозионный износ арматуры;
- замачивание стыков плит длиной до 6 м;
- коррозионный износ верхних полок прогонов покрытия.

Характеристика НДС несущих элементов покрытия

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

Фермы покрытия работают не по классической схеме, нижние пояса пролетной части второстепенных ферм марки Ф5-1 испытывают сжатие. Негативное влияние на работу поясов оказывает отсутствие горизонтальных связей в уровне нижнего пояса ферм. Фермы марки Ф8-1 работают не как

консольные, а как опертые с двух сторон: с одной стороны на железобетонное кольцо, а с другой — на ферму марки Ф9-1, при этом дополнительно поддерживаясь элементами горизонтальных связей в уровне верхнего пояса. Усилия, возникающие в нижних поясах как главных, так и второстепенных ферм, частично распределяются на элементы подвесного потолка.

Для оценки резервов несущей способности сооружения выполнен поверочный расчет. Вопросами оценки технической состояния и определения резервов несущей способности занимались Е. В. Горохов [10], Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин [11, 12]. Обзору новых тенденций и перспектив зданий с эксплуатируемыми крышами посвящена работа S. V. S. Jara [13]. В зарубежной практике вопросам исследования работы под нагрузкой конструкции стальных покрытий, в том числе с учетом реализовавшихся повреждений, посвящены исследования А. М. Johnson [14], L. Xiong [15], A. Formisano [16], S. H. Nguyen [17], M. A. Dar [18]. Опыт оценки технического состояния, накопленный указанными учеными и их коллективами, учтен при оценке технического состояния исследуемого покрытия.

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

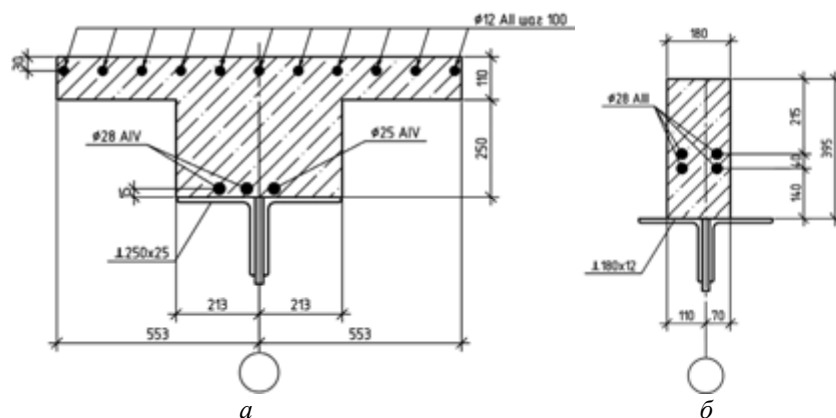


Рис. 6. Расчетное сечение верхнего пояса фермы: *a* — верхний пояс главной фермы; *б* — верхний пояс второстепенной фермы

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

¹ СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14474>.

² СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13674>.

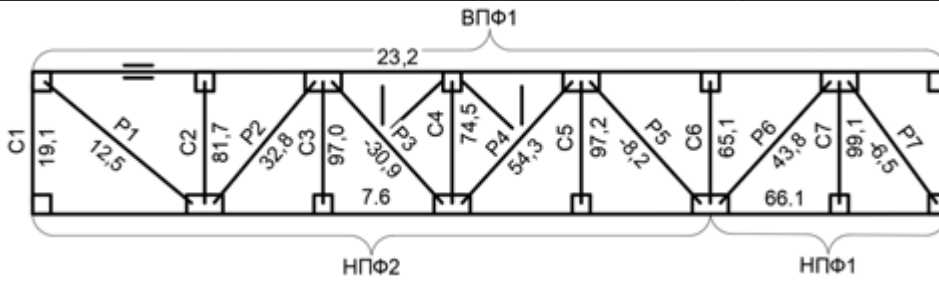


Рис. 7. Схема распределения запасов несущей способности: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

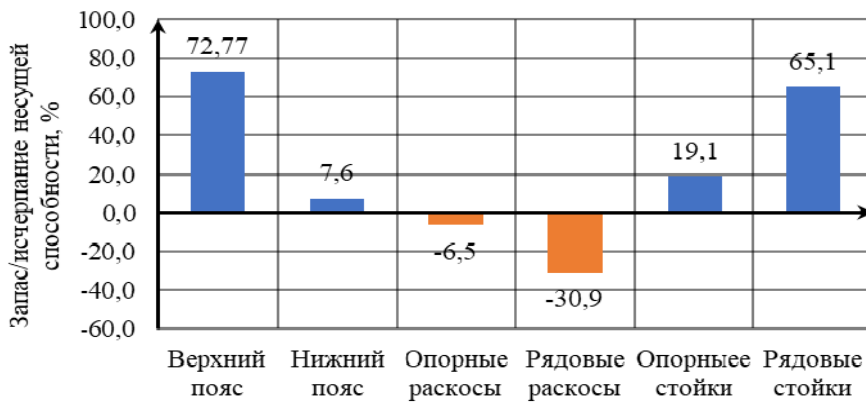


Рис. 8. Диаграмма запаса несущей способности элементов главной фермы: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

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

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

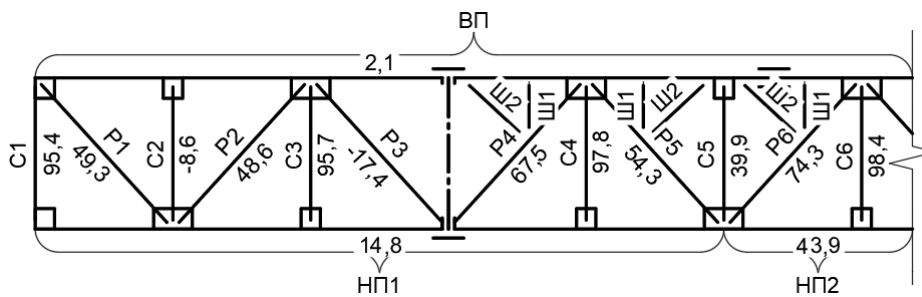


Рис. 9. Схема запасов несущей способности фермы Ф5-1 по оси 3: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

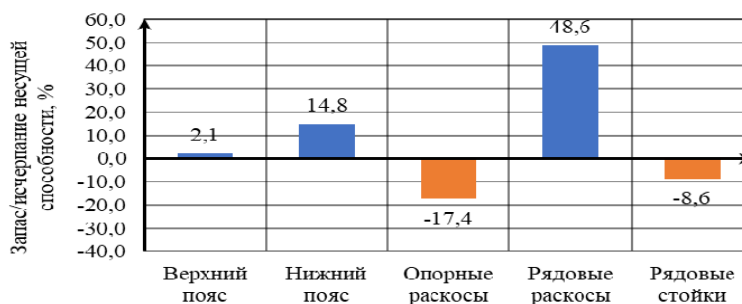


Рис. 10. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 34: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

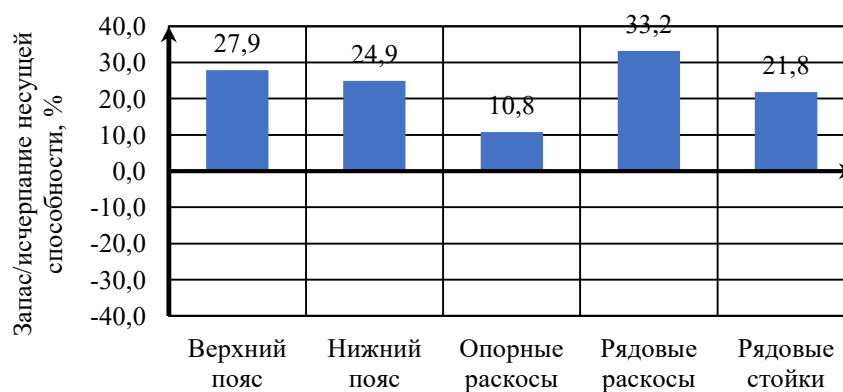


Рис. 11. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 35: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

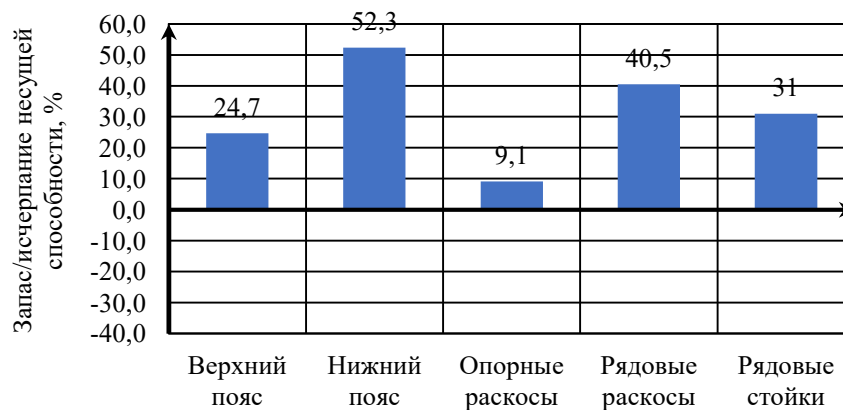


Рис. 12. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 36: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

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

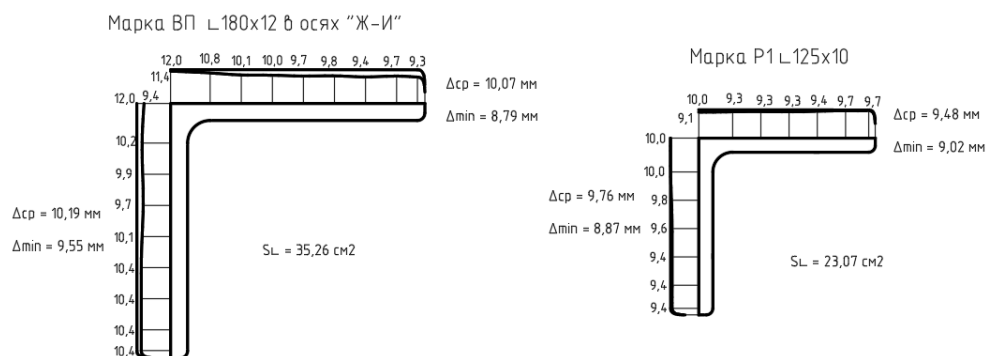


Рис. 13. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 36: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

Отдельного внимания заслуживает вопрос контроля текущего уровня напряженного состояния для сложных многократно статически неопределимых систем. Существующие методы позволяют лишь косвенно оценить уровень напряжений. Исследованиям в данном направлении посвящены работы М. И. Elmasry [19], А. Б. Максимова [20], Е. А. Хорошавина [21].

Выводы и рекомендации

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

2. Проведен анализ примененных конструктивных решений. Наиболее неблагоприятное действие на работу конструкций оказывает решение, принятое при проектировании, — отсутствии горизонтальных связей в уровне нижних сжатых поясов в консольных участках покрытия.

Расчетным путем подтверждена потеря устойчивости отдельных поясов и элементов решетки. Выявлены превышения расчетного сопротивления стали напряжений в элементах ферм: главных ферм — до 30,9 %, второстепенных — до 17,4 %. Участки верхних поясов второстепенных ферм фризного пространства со значительными коррозионными повреждениями имеют запас прочности не ниже 38 %. Для дальнейшей безопасной эксплуатации необходимо устранить замачивание несущих конструкций, восстановить защитное лакокрасочное покрытие, произвести усиление отдельных элементов.

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

4. На основе анализа НДС несущих конструкций покрытия можно сделать вывод о необоснованной принятой типизации сечений несущих конструкций.

Все второстепенные фермы марки Ф1-5 выполнены из элементов одинакового сечения, при этом ферма, находящаяся ближе к кольцу, более нагружена. Об указанной особенности нагружения можно сделать вывод по следующим причинам: наличие встроенных помещений, опирающихся на ферму; на ферму приходится участок покрытия с наиболее тяжелой кровлей. Ошибки при расстановке связей привели к изменению пути передачи нагрузки на ферму, из-за чего появились дополнительные усилия в стержнях фермы.

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

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

5. При анализе нормативной и методической документации выявлено отсутствие рекомендаций по коррозионной защите мест контакта стали с железобетоном. Данный вопрос в полной мере не раскрыт современными авторами, работающими в направлении защиты от коррозии. В СП 266.1325800.2016 и СП 35.13330.2010³ указывается, что «при сборной железобетонной плите между стальным верхним поясом и железобетонной плитой должен быть предусмотрен слой бетона или раствора, предохраняющий верхний пояс от коррозии. При толщине слоя раствора более 5 см его необходимо армировать». Иные рекомендации о предотвращении коррозии отсутствуют. По причине отсутствия четких указаний для исключения контактной коррозии стали предлагается ввести в практику обетонирование мест контакта раствором марки по водонепроницаемости не ниже железобетонной части и не ниже W4, либо вводить специальные добавки в контактный слой бетона [22].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнян Г. А. Защищенность блоков покрытий промышленных зданий с поврежденными несущими конструкциями от прогрессирующего обрушения // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 16—27.
2. Нежданов К. К., Жуков А. Н. Анализ состояния и причин обрушений строительных конструкций в промышленных зданиях // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 80 — 84.

³ СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044285>.

СП 35.13330.2010. Мосты и трубы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849>.

3. *Белик А. З.* Надежность стальных конструкций зданий и сооружений в период эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия : Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 86—90.
4. *Белый Г. И.* Причины снижения надежности и приближенная оценка ресурса стальных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 264.
5. *Губанов В. В., Москаленко В. И.* Опыт ликвидации последствий аварии промышленного здания // Металлические конструкции. 2008. Т. 14. № 3. С. 181—188.
6. *Беляев Б. И., Корниенко С. В.* Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. М. : Стройиздат, 1968. 208 с.
7. Восстановление ресурса строительных конструкций цехов металлургических предприятий / В. С. Бабалич, К. А. Сухин, Ю. С. Вильгельм, В. Н. Власов, К. Н. Сухина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 7—16.
8. *Голиков А. В., Лейчу Ф. Ф.* Повреждаемость и действительная работа стальных конструкций покрытий балочного типа в составе конструкций каркасов зданий // Металлические конструкции. 2022. Т. 28. № 1. С. 33—49.
9. *Buzalo N., Gontarenko I., Chernikhovski B.* Force resistance of steel columns of industrial buildings with corrosion damage // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Pp. 012044. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012044.
10. *Горохов Е. В., Югов А. М.* Оценка технического состояния и техническая диагностика металлических конструкций промышленных зданий и сооружений / Строитель Донбасса. 2019. № 2(7). С. 15—25.
11. *Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Терехов И. А.* Одноэтажные производственные здания с эксплуатируемыми площадями в межферменном пространстве // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 6. С. 28—31.
12. Определение срока службы конструкций, зданий и сооружений / Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков, А. Б. Чаганов // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 12—17.
13. *Jaral S. V. S., Singh M.* Review on Emerging Trends and Future Perspectives of Green Roof Buildings // Recent Advances in Sustainable Technologies : Select Proceedings of ICAST 2020. Singapore : Springer, 2021. Pp. 165—181.
14. *Johnson A. M., Yu C., Smith B., Moen C.* Experimental study on system reliability of cold-formed steel roof trusses // Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council. 2017. URL: <https://www.aisc.org/globalassets/continuing-education/ssrc-proceedings/2017/experimental-study-on-system-reliability-of-cold-formed-steel-roof-trusses.pdf>.
15. *Xiong L., Fan W.* Maintenance strategy for steel structures of large gantry crane based on fatigue reliability // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2015. Vol. 29. No. 2. Pp. 04014046.
16. *Formisano A., Meglio E., Di Lorenzo G., Landolfo R.* Vulnerability Curves of Existing Italian Industrial Steel Buildings Designed Without Seismic Criteria // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 262. Pp. 872—880.
17. *Sihung N., Phuong H. T. T., Le A. T., Vu V. D.* Solutions for reinforcing steel structures of industrial plants without using welded bonding // Proceedings of 2020 Applying New Technology in Green Buildings, ATiGB 2020. 2021. Pp. 31—38. DOI: 10.1109/ATiGB50996.2021.9423415.
18. *Dar M. A., Raju J., Subramanian N., Dar A. R.* Rehabilitation of a distressed steel roof truss — A study // Structural Engineering and Mechanics. 2017. Vol. 62. No. 5. P. 567—576.
19. *Elmasry M. I., Attia M. S., Shehadeh M. F.* Structural health monitoring of steel trusses using acoustic emission technique // International Conference on Noise and Vibration Engineering. 2012. Vol. 4. Pp. 3301—3315.
20. *Максимов А. Б., Ерохина И. С.* Неразрушающий метод определения ресурса углеродистых и низколегированных сталей // Материаловедение. 2021. № 9. С. 19—24.
21. *Khoroshavin E. A.* Dynamic tests and monitoring of the dynamic state of buildings and structures based on microseismic vibrations // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 4(104). DOI: 10.34910/MCE.104.10.
22. *Фомичев В. Т., Савченко А. В., Губаревич Г. П.* Применение добавок нитропроизводных бензимидазола для защиты стальных конструкций от коррозии // Вестник

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Голиков А. В., Терновой В. А., Якимив П. В. Характер развития повреждений и распределения напряженно-деформированного состояния в несущих конструкциях эксплуатируемого покрытия с балочными фермами перекрестной системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 18—30.

Об авторах:

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

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

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

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

Volgograd State Technical University

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

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

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

For citation:

Golikov A. V., Ternovoy V. A., Yakimiv P. V. [The nature of damage development and distribution of the stress-strain state in the load-bearing structures of the operated coating with beam trusses of the cross system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 18—30.

About authors:

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

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

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

УДК 699.82:624.07:69.07:692.843

В. А. Мазур, В. О. Киселева

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПОПРАВОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ОТКРЫТЫЕ ПЛОЩАДКИ КАРЕ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ

Статья посвящена проблематике сбора нагрузок на полы каре при проектировании резервуарных парков. Представлены результаты определения снеговой нагрузки на покрытия емкостей и открытые площадки резервуарных парков. Приводятся поправочные коэффициенты снеговых нагрузок на полы каре резервуарных парков с учетом существующих нормативных данных на кровельные покрытия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: резервуарный парк, пол каре, открытые площадки, конструктивное решение, снеговые нагрузки, Ansys CFX, поправочный коэффициент.

Постановка проблемы

Резервуарные парки хранения нефти и нефтепродуктов являются важной составной технологической частью промышленного предприятия и относятся к особо опасным производственным объектам¹, предотвращающим загрязнение окружающей среды в процессе эксплуатации.

Исследования ведущих ученых [1—3] в основном посвящены объемно-планировочным решениям резервуарных парков и проектированию непосредственно самих резервуаров и инженерных сетей. Значительное внимание уделяется технологической [4, 5] и экологической безопасности всего жизненного цикла резервуарных парков, т. к. объекты относятся к повышенной категории ответственности.

Проблемы проектирования, устройства и дальнейшей эксплуатации полов каре резервуарных парков обусловлены малой разработанностью проектных решений и отсутствием научно обоснованной методики по выбору конструктивного решения с учетом необходимой толщины несущего основания и обязательным устройством изоляционного слоя, исключающего проникновение нефтепродуктов при аварийном разливе. Проведенные исследования показывают, что проектные организации используют нормы по устройству полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных отходов², что приводит не только к ошибкам при проектировании конструкций полов и обвалования, но и к увеличению стоимости, трудоемкости и продолжительности выполнения работ в целом.

Недостаточное количество исследований в области сбора нагрузок на несущие основания открытых площадок приводит к сверхнормативным просадкам конструкций полов каре, и, как следствие, к разрушению изоляционного слоя, исключающего фильтрацию нефти в грунт, образованию застойных зон не только с дождевой влагой, но и с нефтепродуктами при повреждении

¹ СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. М. : МЧС России, 2014. 42 с.

² СП 127.13330.2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. М. : Стандартинформ, 2017. 30 с.

резервуаров, что значительно усложняет работы по ликвидации техногенных аварий.

Известно, что на открытые площадки каре резервуарных парков действует ряд нагрузок, характеризующихся длительностью приложения: постоянные (собственный вес конструкций и поверхностные нагрузки) и временные (снеговые нагрузки, эксплуатационные нагрузки, особые нагрузки — при аварийном разливе нефти)³.

Эксплуатационная нагрузка зависит от передвижения рабочих в процессе эксплуатации, в случае возникновения пожара резервуаров — нагрузка от устройства пеноподъемника. В общем случае эксплуатационная нагрузка будет незначительна в отличие от экстренной и снеговой нагрузки.

Аварийная нагрузка зависит от объемов разлива нефти и нефтепродуктов. Например, учитывая полный объем одного резервуара 10 000 м³, плотность нефти 0,92 г/см³, а также площадь каре резервуарного парка нагрузка составляет в среднем 27,5 кН/м².

При определении снеговых нагрузок на открытые площадки с учетом зон образования снеговых мешков возникает ряд вопросов, связанных с малой изученностью данной темы. Отсутствие схем для определения характера распределений снеговой нагрузки с учетом снегоотложения и снегопереноса усугубляет ситуацию для площадок полов каре, что является причиной затопления территории резервуарного парка в случае таяния снега. В основных исследованиях снеговые нагрузки с учетом снегопереноса и снегоотложений рассматриваются на покрытиях большепролетных и уникальных зданий и сооружений⁴ [6—9].

Поэтому **целью работы** является определение снеговых нагрузок на открытые площадки каре резервуарных парков для регионов Российской Федерации на основании физического и математического моделирования.

Основной материал

Основываясь на существующих проектных решениях устройства открытых площадок различного назначения (парковки, аэродромные площадки и т. д.), можно утверждать, что существуют 2 основных варианта устройства подобных конструкций: по теплоизоляционному слою из пенополистирольных плит в случае строительства на пучинистых грунтах и непосредственно по грунтовому уплотненному основанию в остальных случаях (рис. 1).

При определении снеговой нагрузки резервуарных парков соблюдается следующий алгоритм:

- 1) определение объемно-планировочных решений резервуарных парков;
- 2) построение геометрии резервуарных парков в программе, задание расчетной области, а также сеточное разбиение заданных фигур;
- 3) установление граничных условий моделирования, задание нагрузжений с последующим получением решения;
- 4) изготовление физических моделей в масштабе, проведение натурного эксперимента для определения толщины снегового покрова;
- 5) определение снеговой нагрузки с учетом образования снеговых мешков;

³ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85*. М.: Госстрой, 2017. 128 с.

⁴ EN 1991-1-3 (2003) (English): Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-3: General actions. Snow loads. 2003. 59 p.

- б) построение эпюр полученных результатов снеговой нагрузки;
 7) определение поправочного коэффициента снеговой нагрузки на открытые площадки резервуарных парков для регионов РФ.

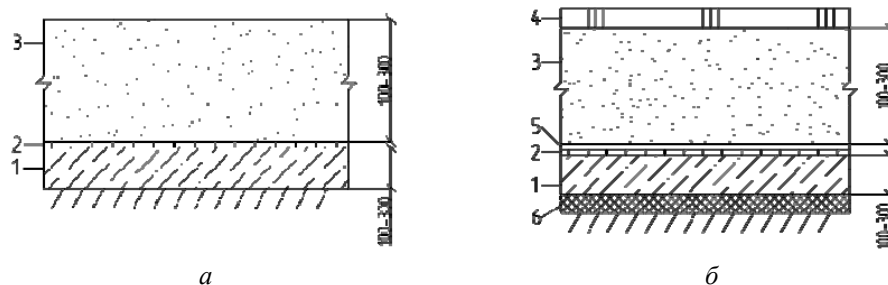


Рис. 1. Конструктивное решение и состав пола каре: *a* — непосредственно по уплотненному грунтовому основанию; *б* — по теплоизоляционному слою: 1 — основание, 2 — изоляционный слой, 3 — защитный слой, 4 — покрытие, 5 — разделительный слой, 6 — теплоизоляционный слой

За основу разработки моделирования снегопереноса и снегоотложений на открытых площадках резервуарных парков в работе принята концепция массопереноса, разработанная учеными М. Naïim, Т. Uematsu и др. [10, 11].

В качестве моделей для определения снеговых нагрузок на полы каре приняты резервуарные парки в виде прямоугольников, выполненных для одиночного и групповых (2, 4 шт.) размещений наземных емкостей с объемом одной цистерны в натурном виде $10\,000\text{ м}^3$ (рис. 2), размещенных на территории Ростовской области.

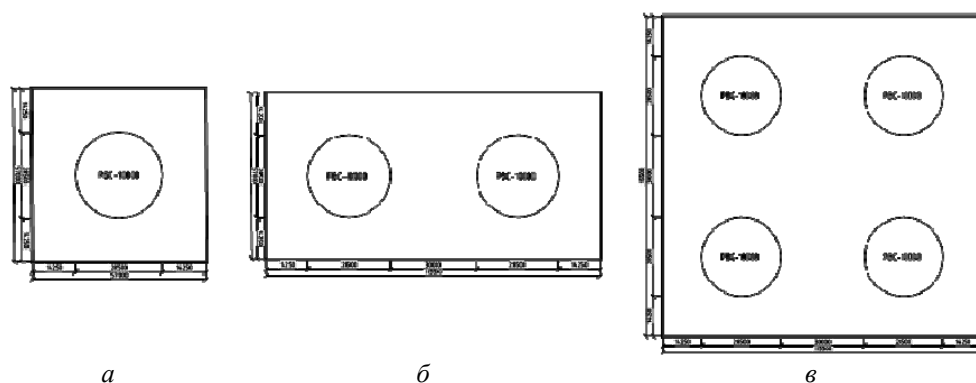


Рис. 2. Схемы компоновок резервуарных парков: *a* — одиночное расположение; *б, в* — групповое расположение

Габаритными размерами для исследуемых резервуарных парков приняты следующие: диаметр одного резервуара 28,5 м, высота 18 м. Расстояние между резервуарами при групповом расположении принято 30 м. Высота ограждения⁵ для каждого резервуарного парка находилась по формулам:

⁵ СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. М. : МЧС России, 2014. 42 с.

ГОСТ Р 53324—2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности. М. : Стандартинформ, 2009. 11 с.

1) для одиночного резервуарного парка:

$$h = \frac{V}{a^2 - \frac{\pi D^2}{4}} + 0,2 > h_{\text{ном}}, \quad (1)$$

2) для группового резервуарного парка:

$$h = \frac{V}{ab - \frac{\pi D^2}{4}(n-1)} + 0,2 > h_{\text{ном}}, \quad (2)$$

где V — объем резервуара, м^3 ; a и b — длина и ширина площади внутри ограждения, м ; D — диаметр резервуара, м .

Номинальная высота ограждения устанавливается в зависимости от объема и количества емкостей. Так для резервуаров объемом до 10 тыс. м^3 номинальная высота составляет 0,8 м, для резервуаров более 10 тыс. м^3 — 1,5 м. При этом резервуарный парк с одиночным расположением емкостей не может быть выполнен объемом 500 м^3 и менее.

Высота ограждения рассматриваемых резервуарных парков различна, поэтому коэффициент μ будет различный, но не более указанного предела⁶.

Уклон покрытия резервуарного парка составляет меньше 3 %, поэтому термический коэффициент для всех вариантов устройства резервуарного парка равен 1.

В роли модуля моделирования ветрового потока по определению снеговых мешков рассматривались Fluent и CFX⁷. За основу входных геометрических данных принимается сеточное разбиение рассматриваемой фигуры. Различие между представленными модулями заключается в том, что за центр контрольного объема в Ansys Fluent принимается центр ячейки сеточного разбиения, в Ansys CFX — узел сетки. Поэтому в дальнейшем в работе рассматривается модуль Ansys CFX, т. к. значения в узлах сетки показывают более точные результаты.

При построении геометрии задается расчетная область для изолирования объекта, которая принимается не менее $5H$ [12]. Расстояние от резервуарного парка до края расчетной области составляет более или равное $15H$, расстояние вдоль потока до сооружения — минимум $5H$. Скорость ветра в среде Ansys CFX рассматривается равным 6 и 17 м/с согласно исследованию [13]. Направление ветрового потока осуществляется по оси x .

Давление ветрового потока на резервуарные парки в программе рассматривается для 1РВС под углом атаки 0° , для 2РВС — 0° , 45° и 90° , для 4РВС — 0° и 45° . Наиболее выраженные модели при заданных скоростях (6 и 17 м/с) представлены на рис. 3—5.

⁶ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85*. М.: Гострой, 2017. 128 с.

⁷ ANSYS CFX-Solver, Release 12.1, Help System, Theory Guide, ANSYS, Inc. ISO 9001:2008. 270 p.

ANSYS Fluent. Release 15. Help System. Theory Guide, ANSYS, Inc. ISO 9001:2008. 1162 p.

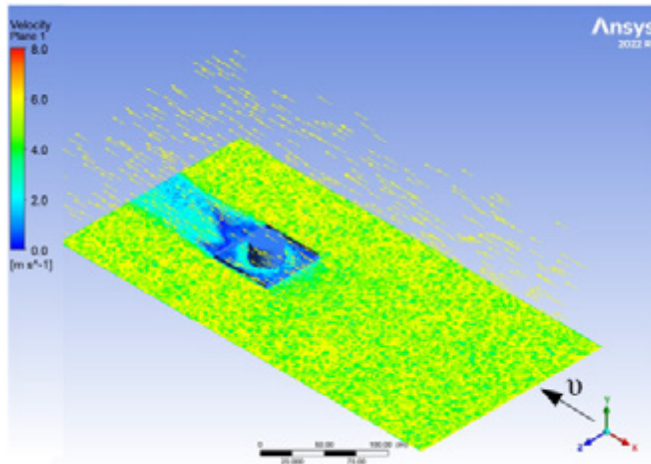


Рис. 3. Давление ветрового потока на резервуарный парк 1РВС под углом атаки 0° при скорости ветра 6 м/с

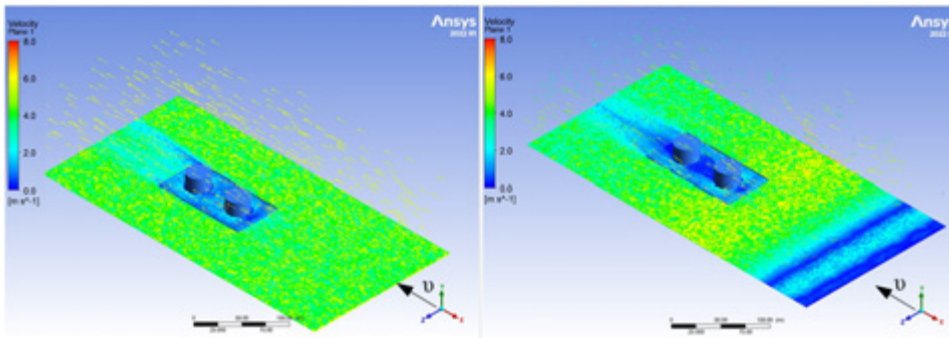


Рис. 4. Давление ветрового потока на резервуарный парк 2РВС под углом атаки 0° и 45° при скорости ветра 6 м/с

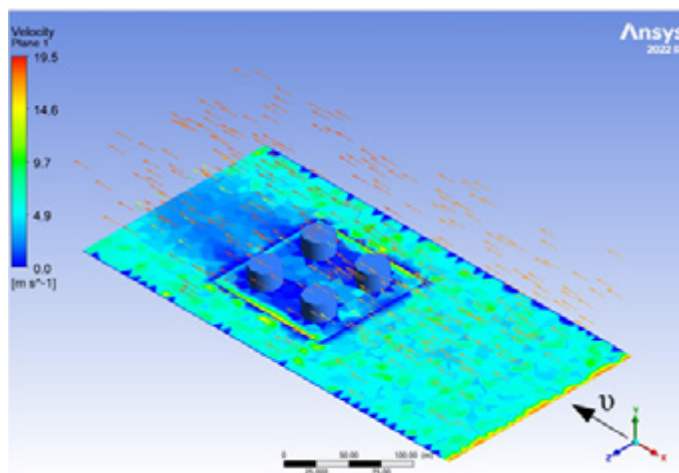


Рис. 5. Давление ветрового потока на резервуарный парк 4РВС под углом атаки 0° при скорости ветра 17 м/с

Полученные картины ветрового давления показывают, что зоны с пониженным давлением, а значит места образования снеговых мешков, образуются с наветренной стороны спереди и позади первого ряда резервуаров в группе.

Физический опыт представляет собой натурный эксперимент на масштабных моделях (М1:250). Опыты проводятся в естественных условиях в период снегопада. Каждый результат данных фиксируется по истечению одного часа (рис. 6). Натурные наблюдения за снегопереносом и снегоотложением включают в себя снегомерную съемку, т. е. определение высоты снежного покрова на территориях резервуарных парков и покрытиях емкостей, структуры и плотности снега. В процессе эксперимента особое внимание уделяется степени покрытости участка снегом, характеру залегания снежного покрова, а также наличию ледяной корки и воды в снежном покрове.

Значение толщины снежного покрова, форма покрытия и распределение снежных отложений по поверхности крыш емкостей и открытых площадок резервуарных парков являются наиболее влияющими факторами на получение точных значений снеговой нагрузки.

Эксперименты проводились при одинаковых условиях. Количество экспериментов составило порядка 23, в течение одного экспериментального дня несколько раз проводился физический опыт. Для каждого макета производилось несколько замеров высоты снежного покрова по определению максимальной снеговой нагрузки на покрытиях емкостей и открытых площадках резервуарных парков. Определялась зависимость высоты снежного покрова от принятых объемно-планировочных решений резервуарных парков. Высота снежного покрова определялась с помощью строительной рулетки и металлической линейки с ценой деления шкалы 1 см. В результате натурального эксперимента наблюдались изменение ветрового потока, снежное завихрение. Скорость ветра определялась анемометром и в среднем составляла 6 м/с.

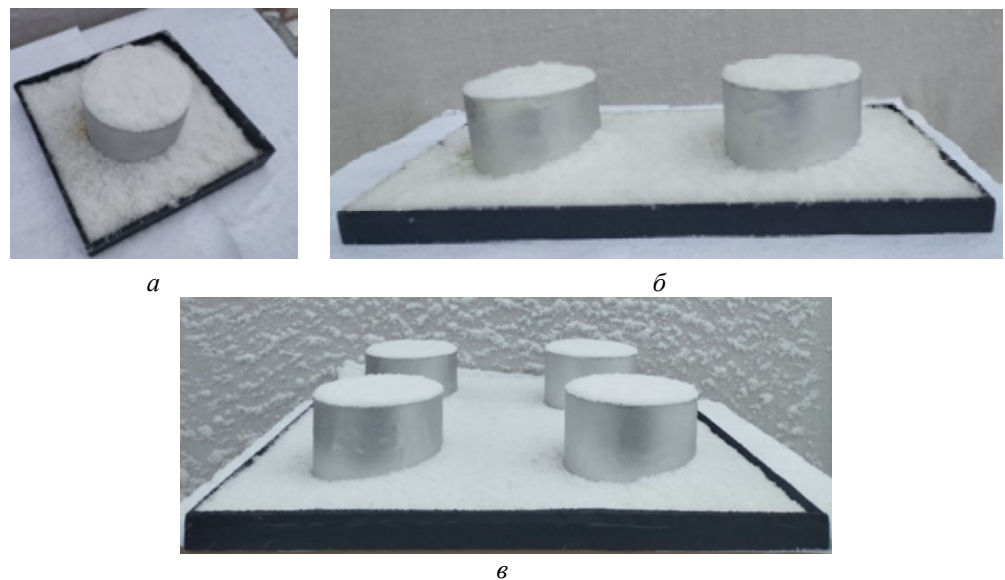


Рис. 6. Результаты снегомерной съемки резервуарных парков: *а* — одиночное расположение (1РВС); *б, в* — групповое расположение (2 и 4РВС)

В результате проведенного эксперимента построены карты снеговых нагрузок для резервуарных площадок 1РВС, 2РВС и 4РВС (рис. 7).

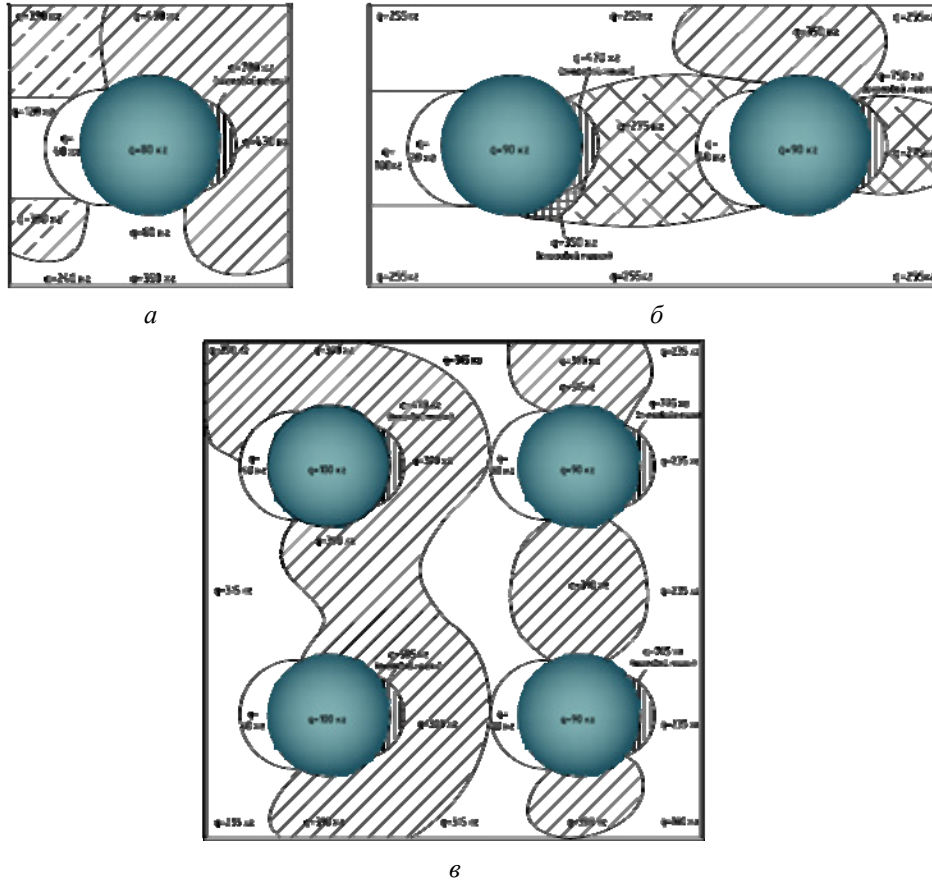


Рис. 7. Карты снеговых нагрузок на 1 м²: а — одиночного резервуарного парка; б, в — групповых резервуарных парков

Физический эксперимент показал сходимость полученных зон образования снеговых мешков с зонами пониженного давления, полученными в программе Ansys CFX.

Снеговая нагрузка на полы открытых площадок каре резервуарных парков определяется согласно методике СП 20.13330.2016⁸. При переходе со снеговой нагрузки, полученной опытным путем, к расчетной снеговой нагрузке пол каре учитывается как пологое покрытие с уклоном местности менее 12 %:

$$c_c = (1,2 - 0,4\sqrt{k})(0,8 + 0,002l_c), \quad (3)$$

где k — зависит от типа местности; l_c — размер покрытия не более 100 м и определяется по формуле:

⁸ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85*. М. : Госстрой, 2017. 128 с.

$$l_c = 2b - \frac{b^2}{l}. \quad (4)$$

Для каждого резервуарного парка в зависимости от типа местности коэффициент, учитывающей снос снега, имеет следующий вид [13]:

- с учетом типа местности А (в открытой местности) — для одиночного резервуарного парка $c_e = 0,7$, для группового резервуарного парка 2РВС $c_e = 0,74$, для группового резервуарного парка 4РВС $c_e = 0,79$;
- с учетом типа местности В (в местности с равномерным покрытием препятствий высотой более 10 м) — для одиночного резервуарного парка $c_e = 0,77$, для группового резервуарного парка 2РВС $c_e = 0,82$, для группового резервуарного парка 4РВС $c_e = 0,87$.

Расчеты выполняются с учетом коэффициента надежности по снеговой нагрузке $\gamma_f = 1,4^9$.

Результаты полученных значений максимальной снеговой нагрузки на покрытия резервуаров и полы открытых площадок резервуарных парков представлены в таблице.

Максимальная снеговая нагрузка, полученная в результате эксперимента

Резервуарные парки	Максимальная снеговая нагрузка, зависящая от веса выпавшего мокрого снега, кг/м ² (кН/м ²)	
	на покрытиях резервуаров	на открытых площадках
1РВС	80 (0,78)	780 (7,65)
2РВС	90(0,88)	750 (7,35)
4РВС	100 (0,98)	702 (6,93)

Установлено, что максимальная снеговая нагрузка на полы наблюдается при эксплуатации одиночных резервуарных парков.

Для доказательства достоверности полученных значений снеговой нагрузки на полы каре резервуарных парков выполняется верификация. Значения снеговой нагрузки на покрытиях емкостей сравниваются с нормативным значением снегового покрова в Ростовской области.

При средней толщине снегового покрова на покрытиях емкостей (2,35 мм) и максимального веса мокрого снега 150 кг/м³ снеговая нагрузка составит: $q_{\text{ср.сн}} = 150 \cdot 2,35 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 92 \text{ кг/м}^2 (0,9 \text{ кПа})$.

Согласно приложению К СП 20.13330.2016 нормативное значение снегового покрова Ростовской области составляет 0,8 и 0,85 кПа, полученные результаты можно считать достоверными, а показатели снеговой нагрузки на полы каре — близкими к действительным.

В общем случае традиционная модель снеговых нагрузок определяется сводом правил, но дорабатывается поправочными коэффициентами снеговой нагрузки, представленными ниже.

Для определения поправочного коэффициента снеговой нагрузки на открытой площадке резервуарного парка необходимо разделить значения снеговой нагрузки на открытых площадках на максимальную снеговую нагрузку

⁹ Там же.

на покрытиях резервуаров. Поправочный коэффициент снеговых мешков имеет следующий вид:

$$\text{для 1РВС составит: } k = \frac{7,65}{0,78} = 9,81,$$

$$\text{2РВС: } k = \frac{7,35}{0,88} = 8,35,$$

$$\text{4РВС: } k = \frac{6,93}{0,98} = 7,07.$$

Построены эпюры с поправочными коэффициентами снеговых нагрузок на полы каре резервуарных парков (рис. 8).

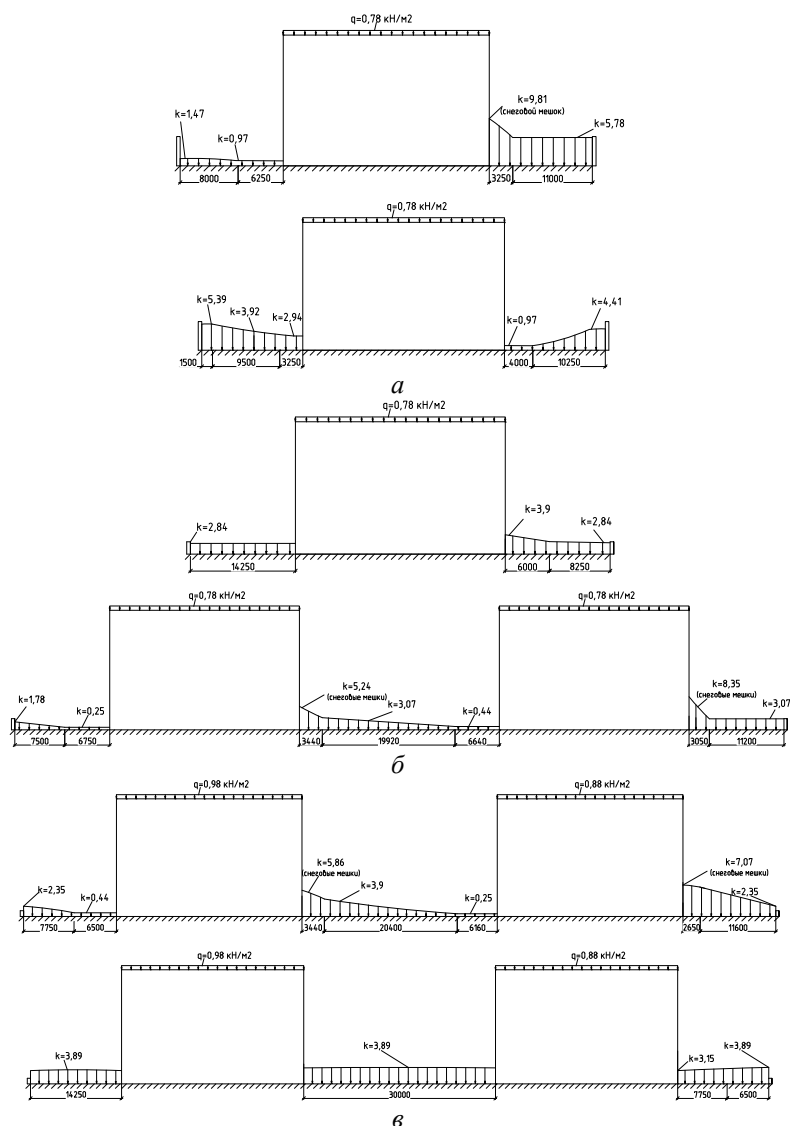


Рис. 8. Эпюры снеговых нагрузок: а — одиночного резервуарного парка; б, в — групповых резервуарных парков (2 и 4 шт.)

Установлено, что независимо от компоновки резервуарного парка максимальная нагрузка наблюдается вдоль стенок резервуаров с наветренной стороны.

Выводы

1. В результате численного моделирования ветрового потока установлено, что наибольшие снеговые мешки образуются вдоль стенок последних в группе резервуаров с наветренной стороны. Также характерно образование снеговых мешков в центральных частях резервуарных парков вдоль стенок резервуаров с подветренной стороны.

2. Получены поправочные коэффициенты, позволяющие определять снеговую нагрузку в открытой зоне пола каре с учетом имеющихся нормативных значений на кровельные покрытия (сферические поверхности), в зонах образования снеговых мешков и на открытых площадках резервуарных парков.

3. Полученные данные для определения снеговых нагрузок на открытых площадках дают возможность определить общую нагрузку на полы каре резервуарных парков хранения нефти и нефтепродуктов, что позволяет избежать ошибок при проектировании полов резервуарных парков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пектемиров Г. А.* Справочник инженера и техника нефтебаз. М. : Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1962. 325 с.
2. *Грознов Г. А.* Строительство нефтебаз и автозаправочных станций. М. : Недра, 1980. 77 с.
3. *Шишкин Г. В.* Справочник по проектированию нефтебаз. М. : Недра, 1978. 216 с.
4. *Yi-Fei M., Dong-Feng Z., Zhi-Qiang Z.* Preliminary Study on Safety Performance Evaluation of Petrochemical Plant Layout // *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 52. Pp. 277—283.
5. *Sengupta A, Gupta A, Mishra I.* Engineering layout of fuel tanks in a tank farm // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2011. Vol. 24. Iss. 5. Pp. 568—574.
6. *Брутиков Н. А., Белостицкий А. М.* Примеры расчетов снеговой нагрузки с применением численного моделирования снегоотложений и снегопереноса. // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: сб. трудов*. 2020. С. 13—16.
7. *Стоянов В. В., Жгалли Ш.* Численное моделирование снеговых нагрузок на покрытиях уникальных и современных архитектурных форм. // *Ученые записки ТНУ имени В. И. Вернадского*. Серия : Технические науки. Одесса, 2019. С. 121—132.
8. *Золина Т. В., Садчиков П. Н.* Моделирование снеговой нагрузки на покрытие промышленного здания. // *Вестник МГСУ*. 2016. № 8. С. 25—33.
9. *Ледовской И. В.* Снеговые нагрузки на некоторые пространственные покрытия зданий // *Вестник гражданских инженеров*. 2009. № 1(18). С. 22—24.
10. *Naaïm M., Naaïm-Bouvet F., Martinez H.* Numerical simulation of drifting snow: erosion and deposition models. // *Annals of Glaciology*. 1998. Vol. 26. Pp. 191—196.
11. Numerical simulation of snowdrift development / T. Uematsu, Y. Kaneda, K. Takeuchi, T. Nakata, M. Yukumi // *Annals of Glaciology*. 1989. Vol. 13. Pp. 265—268.
12. *Tominaga Y., Mochida A., Yoshie R.* AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2008. Vol. 96. Iss. 10-11. Pp. 1749—1761.
13. *Зубкович С. А.* Взаимосвязь стихийных гидрометеорологических явлений и ветровых аномалий над Восточной Украиной: дисс.... канд. геогр. наук. Одесса, 2015. 200 с.

© Мазур В. А., Киселева В. О., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Мазур В. А., Киселева В. О. Поправочный коэффициент для определения снеговой нагрузки на открытые площадки каре резервуарных парков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 31—41.

Об авторах:

Мазур Виктория Александровна — канд. техн. наук, доц. каф. технологии и организации строительства, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА). Российская Федерация, ДНР, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2; v.a.mazur@donnasa.ru

Киселева Виктория Олеговна — аспирант, ассистент каф. технологии и организации строительства, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА). Российская Федерация, ДНР, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2; v.o.kiseliova@donnasa.ru

Victoriia A. Mazur, Victoria O. Kiseliova

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

CORRECTION COEFFICIENT FOR DETERMINING SNOW LOAD ON OPEN AREAS OF TANK FARMS

The article is devoted to the problems of collecting loads on the floors of the square when designing tank farms. The paper presents the results of experiments to determine the snow load on the coatings of tanks and open areas of tank farms. The transitional coefficients of snow loads on the floors of tank farms are given, taking into account the existing regulatory data on roofing.

Key words: tank farm, floor square, open areas, constructive solution, snow loads, Ansys CFX, correction coefficient.

For citation:

Mazur V. A., Kiseliova V. O. [Correction coefficient for determining snow load on open areas of tank farms]. *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. 5, pp. 31—41.

About authors:

Victoriia A. Mazur — Candidate of Engineering Sciences, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACA). 2, Derzhavina st., Makeyevka, 286123, Russian Federation; v.a.mazur@donnasa.ru

Victoria O. Kiseliova — Postgraduate student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACA). 2, Derzhavina st., Makeyevka, 286123, Russian Federation; v.o.kiseliova@donnasa.ru

УДК 625.745

С. Г. Артемова, А. Г. Чопко, В. В. Русскова

Волгоградский государственный технический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВОДА С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Цель работы — анализ и обоснование принципа обеспечения устойчивости и экономичности системы управления автомобильными дорогами путем приоритетной реализации эффективных систем дорожного водоотвода, а также рассмотрение основных принципов проектирования и функционирования систем водоотвода. Обоснование разработанных мероприятий по повышению уровня содержания и эффективности систем водоотвода с проезжей части автомобильных дорог. Результаты работы представлены в виде двух статей. В предлагаемой статье сформулированы основные причины, характеризующие систему дорожного водоотведения как главного компонента сохранности транспортно-эксплуатационных характеристик дороги. Объектом исследования выступают автомобильные дороги общего пользования как в пределах населенных пунктов, так и вне города. Рассматривается вопрос воздействия водоотводящих систем на эксплуатационные показатели дороги.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильная дорога, система водоотведения, функциональный срок службы, безопасность.

Функционирование транспортного комплекса обеспечивает важнейшие жизненные, социальные и градостроительные задачи. Перевозка пассажиров, доставка грузов невозможны без использования автомобильных дорог. В связи с этим главным является обеспечение скорости сообщения и безопасности всех участников дорожного движения [1].

Для успешного выполнения этих задач необходимо, чтобы специализированные организации обеспечивали соответствующие нормативные требования.

Подготовка проектно-сметной документации автомобильных дорог — важнейший процесс, обеспечивающий сохранность транспортно-эксплуатационных характеристик будущего линейного объекта. Проектирование транспортных сооружений опирается на требования нормативной документации, даже незначительные отклонения играют существенную роль при эксплуатации дороги и влияют на сроки проведения и виды ремонтных работ [2].

Учитывая, что каждый из отдельных компонентов проектируемой автомобильной дороги должен выполнять возложенные на него функции, необходимо проанализировать текущее место строительства, опираясь на результаты инженерно-геологических изысканий, и принять соответствующие технологические решения.

При проектировании автомобильной дороги, независимо от ее территориального проложения, необходимо индивидуально рассматривать каждый компонент или систему. Процесс водоотведения с проезжей части является ключевым фактором обеспечения безопасности и поддержания основных показателей дороги.

Повышение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог и безопасности участников дорожного движения осуществляется, в т. ч., благодаря процессу отвода воды с поверхности проезжей части с последующей очисткой от загрязнений [3].

В решении этой задачи приоритет отдается исследованиям, направленным на совершенствование нормативно-технической базы, различных норм проектирования, расчетов более эффективных систем дорожного водоотвода.

Дополнительные исследования существующих систем водоотведения позволяют выявить их недостатки и разработать изменения, повышающие эффективность их функционирования.

Загрязненный поверхностный сток влияет на прилегающую к дороге территорию и оказывает наибольшее негативное воздействие, если отсутствует или неэффективно функционирует система дорожного водоотведения и очистки сточных вод. Наблюдается однозначная зависимость степени загрязнения прилегающей территории от применяемой схемы организации водоотвода и ее показателей. Это, в свою очередь, влияет на показатели аварийности на определенном участке автомобильной дороги [4].

Сегодня существенно увеличился объем требований к автомобильным дорогам и транспортным сооружениям. Некоторым показателям, которые определяют функциональные характеристики автодороги, по ряду причин уделяется недостаточно внимания. Работа систем дорожного водоотведения также относится к этим показателям. Учитывая требования, предъявляемые к системам дорожного водоотведения при строительстве автомобильных дорог, проектирование отдельных элементов систем дорожного водоотведения должно выполняться строго в соответствии с нормативно-технической документацией, т. к. прочностные характеристики слоев основания напрямую зависят от эффективного отвода воды с автомобильной дороги¹.

Из-за недостатка внимания к функционированию водоотвода значительно снижается прочность дорожного покрытия, ухудшается экологическая обстановка. А это приводит к снижению межремонтных сроков, учащению ремонтных работ.

Более 45 лет данное направление исследований является актуальным. В отечественной практике разработка систем поверхностного водоотвода с проезжей части на дорогах была начата в 1967 г. в «Союздорпроекте».

В ходе анализа и проектирования систем дорожного водоотведения в качестве основных структурных параметров приняты геометрические параметры автомобильной дороги, а также установлены принципы определения поверхностного стока и данные ливневого районирования.

Водоотводные сооружения, введенные в эксплуатацию на раннем этапе проектирования, характеризовались разной гидрологической обоснованностью их функционирования и неэффективным подбором методологических подходов. С учетом современных требований и постоянного совершенствования материалов и нормативно-технической базы типовые решения и схемы стали недостаточно эффективны. С другой стороны, активно ведется разработка новых материалов для строительства дорог, отличающихся повышенными

¹ СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02—85*. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/119239>.

эксплуатационными характеристиками, существующие материалы и компоненты непрерывно совершенствуются.

При организации систем водоотвода важно научное обоснование применяемого варианта схемы. Расчет пикового сброса сточных вод является одним из первых шагов проектирования водоотвода. Объем пикового сброса не должен превышать максимальный уровень, фиксируемый за прошедший период.

Загрязнение элементов конструкций и их раннее разрушение обуславливается отсутствием данных об их пропускной способности и эффективной апробации. Также важна роль техники, применяемой для недопущения переувлажнения грунтов земляного полотна [5].

Переувлажнение грунтов может возникать по различным причинам. Наиболее загрязняющими являются дождевой и талый стоки, а также сточные воды от мойки дорожного покрытия.

Эти воды составляют до 75 % годового объема и должны направляться на очистные сооружения с помощью различных систем водоотведения (рис. 1), находящихся в рабочем состоянии и отвечающих необходимым техническим требованиям.



Рис. 1. Вариант реализации водоотвода

Если система водоотвода не справляется в полном объеме, то существует вероятность процесса накопления свободной воды на проезжей части дороги, что может стать причиной возникновения эффекта аквапланирования и потери управляемости транспортным средством из-за отсутствия сцепления колес с покрытием. В зимнее время может наблюдаться снижение эффективности торможения ввиду образования льда на поверхности дорожного покрытия.

Дождевые осадки определяют процесс изменения водно-теплового режима структуры дорожной одежды. Анализ результатов различных исследований позволяет сделать вывод, что уровень влажности грунта земляного по-

лотна увеличивается при уменьшении расстояния от «горизонта» грунтовых вод, а также при снижении фильтрующего слоя².

Циклические периоды понижения и повышения температуры способствуют появлению мелких трещин, пропускающих воду в количестве, способном вызвать более серьезные разрушения. Такая свободная вода, проникающая в конструктивные слои, перемещающаяся в них благодаря давлению от колес, причиняет серьезный вред всей конструкции одежды и может снизить ее прочность более чем на 30 %. В процессе эксплуатации на поверхности дорожного покрытия возникают усталостные трещины из-за постоянных нагрузок и деформаций дорожной одежды.

Рассмотрен и изучен принцип расчета стока ливневых вод, выполняющийся в соответствии с СП 33-101—2003³. Суть расчета заключается в анализе предельных интенсивностей. Это необходимо для установления продолжительности выпадения дождевых осадков в рамках движения воды по логу водосбора до створа дороги [6].

Территория РФ представлена картой ливневых районов (рис. 2). Для каждого из районов существует показатель интенсивности ливня часовой продолжительности заданной вероятности превышения (ВП), % (табл. 1).

Кроме того, при расчете гидрологических характеристик используют:

α — коэффициент потерь стока, определяемый в зависимости от вида грунтов и величины площади водосборного бассейна по табл. 2;

ϕ — коэффициент редуции, учитывающий неравномерность выпадения осадков на поверхность водосборного бассейна.

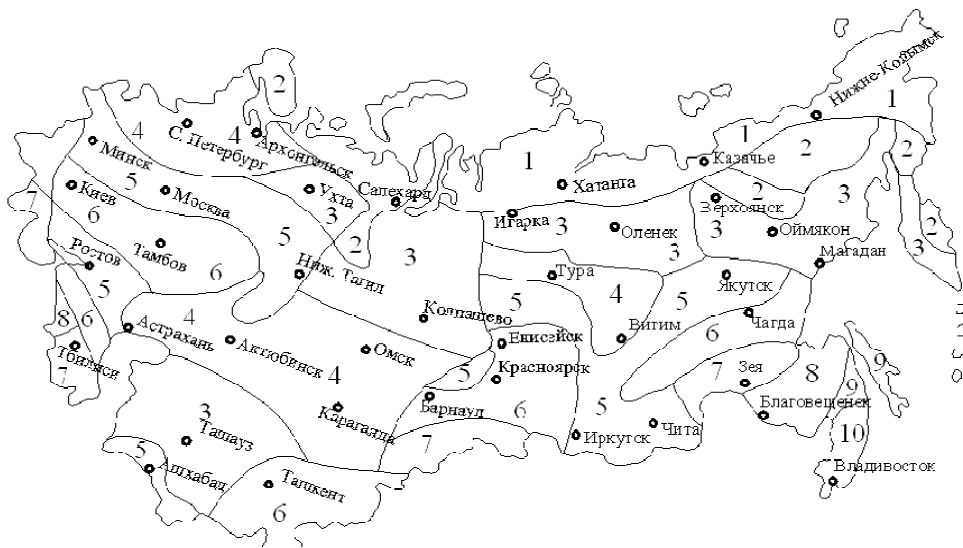


Рис. 2. Карта ливневых районов Российской Федерации

² ГОСТ 3634—2019. Люки смотровых колодцев и дождеприемники ливневочных колодцев. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170669?ysclid=lp5kyt66yi488631550>.

³ СП 33-101—2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035578?ysclid=loh51ma5s936472513>.

Таблица 1

Интенсивность ливней часовой продолжительности

№ ливневого района	Часовая интенсивность дождя, мм/мин, ВП, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,63
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,63

Таблица 2

Коэффициент потерь стока

Вид и характер поверхности	Коэффициент α , при F , км ²		
	$F = 0,1$	$F = 0,1 \dots 10$	$F = 10 \dots 100$
Асфальт, скала без трещин, бетон	1	1	1
Жирноглинистые почвы, такыры и такырные почвы	0,80...0,95	0,65...0,95	0,65...0,90
Суглинки, подзолы, подзолистые и серые лесные суглинки, сероземы тяжелосуглинистые, тундровые и болотные почвы	0,70...0,90	0,55...0,90	0,50...0,75
Чернозем обычный и южный, светло-каштановые почвы, темно-каштановые почвы	0,55...0,80	0,45...0,75	0,35...0,65
Супеси, бурые и серо-бурые пустынно-степные почвы, сероземы супесчаные и песчаные	0,35...0,60	0,20...0,55	0,20...0,45
Песчаные, гравелистые, рыхлые каменистые почвы	0,25	0,15...0,20	0,10

Необходимо учитывать, что построение профиля системы дорожного водоотвода выполняется в искаженном масштабе, как и профиля дороги.

Существует необходимость проведения исследований, связанных с гидрогеологией и климатом, при проведении ремонтных дорожных работах для оптимального выбора схемы организации водоотвода с поверхности покрытия.

При сбросе поверхностных вод происходит повышение скорости течения воды. В связи с этим требуется проведение укрепительных работ откосов с помощью цементобетона.

Однако даже в случае укрепления откосов зачастую в результате проникновения стекающей воды образуются размывы подстилающего слоя и деформации покрытий откосов. Необходимо проведение сравнительного анализа различных вариантов конструкций укреплений.

Количество воды, требующее фильтрации, зависит в большей степени от объема выпадающих осадков, а также от уклона обочины⁴.

⁴ ГОСТ 32955—2014. Дороги автомобильные общего пользования. Лотки дорожные водоотводные. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2016. 18 с.

Оптимальным способом, обеспечивающим прочность дорожной конструкции, является обустройство обочин по типу основной проезжей части. Одним из видов укрепления канав является щебенение слоем до 11 см с засевом многолетних трав на откосах. Данный вид укрепления применяется в районах с влажным климатом при скорости течения воды не более 1,1 м/с. Также при низкой скорости течения возможно укрепление дна засевом трав.

Широкое использование получили типовые конструкции укреплений водоотводных канав щебнем с засевом трав на откосах (рис. 3), сборными бетонными плитами (рис. 4), кюветными сборными лотками, торкретбетоном, монолитным бетоном, бетонными сегментами, асфальтобетонными плитами и песчаным асфальтобетоном⁵.



Рис. 3. Укрепление канав щебнем



Рис. 4. Укрепление канав бетонными плитами

⁵ ОДМ 218.2.055—2015. Рекомендации по расчету дренажных дорожных конструкций.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200125026?ysclid=lp518dggts976735062>.

С учетом постоянно меняющихся требований комфортного и безопасного передвижения автомобильного транспорта необходимо наибольшее внимание при реализации системы дорожного водоотвода уделять проектированию структуры водоотвода, которая не будет менять условия движения и сужать ширину проезжей части и обочины, а также не потребует изменения типа дорожного покрытия.

Оптимальным вариантом считается применение водопропускных труб, которые универсальны при различных сочетаниях элементов плана и продольного профиля с учетом высоты насыпи.

Существует и имеют перспективу развития и внедрения другие системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог⁶. В качестве примера необходимо отметить применение систем с использованием лотков, собирающих поверхностный сток с дальнейшим сбросом в колодцы и на прилегающую территорию (рис. 5). Подобное решение применяется, исходя из территориального прохождения автомобильной дороги в пересеченной местности с насыпями минимальных высот.



Рис. 5. Вариант сбора поверхностного стока

На сегодняшний день в разных регионах нашей страны актуальной проблемой является чередование периодов замерзания и оттаивания, что создает трудности при организации систематического водоотвода с поверхности дорожного покрытия автомобильной дороги.

Применяемые материалы должны обладать эксплуатационными показателями, позволяющими выдерживать постоянные периоды замерзания и оттаивания, в таком случае асфальтобетон не будет пропускать в слои дорожной одежды свободную воду. Необходимо уделять особое внимание как системе дорожного водоотведения, так и нижнему и верхнему слоям дорожной одежды.

⁶ СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02—85*. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/119239>.

В весенне-осенний, а местами и в зимний периоды часты случаи одновременного выпадения дождевых и снеговых осадков, что снижает прочность дороги и может привести к нарушению движения транспорта.

В общем объеме стока ливневых и талых вод, с учетом работы поливочных машин, в составе воды фиксируется значительное содержание вредных и загрязняющих компонентов, которые отрицательно действуют на состояние окружающей среды в случае отсутствия или неэффективности системы дорожного водоотвода.

В конкретном районе при проектировании различных элементов систем дорожного водоотвода надо принимать во внимание параметры и характеристики, которые регулируют работу дорожных водоотводящих систем, например, искусственное орошение, земледелие, карстовые явления, озерность, поскольку каждый отдельный регион обладает различными техническими условиями проектирования⁷.

Период начала паводка может совпадать с действием указанных факторов, что может привести к затоплению определенных участков в случае неудовлетворительной работы регулирующих компонентов дорожной системы. Необходимо принимать во внимание данные наблюдений на метеостанциях, среднестатистические данные могут помочь при проектировании системы дорожного водоотвода.

Система дорожного водоотвода является основополагающим фактором при проектировании автомобильных дорог вне зависимости от территориального расположения, категории или протяженности. Очевидно, что отсутствие лишней влаги в дорожной конструкции способствует сохранению несущей способности грунта и поддержанию оптимального функционирования автомобильной дороги. Избыточное содержание влаги приведет к более частым ремонтным работам.

Существующие системы дорожного водоотведения, разработанные несколько десятилетий назад, с трудом справляются с уровнем динамических нагрузок и работают практически на пределе своих возможностей. Эти системы необходимо применить в качестве фундамента при проведении исследований и разработке рекомендаций по улучшению функционирования дорожных водоотводных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ильина А. А.* Принципы сбора и отвода воды с разделительных полос на современных автомагистралях // *Автомобильные дороги: информ. сб.* Вып. 6. М.: Инфортавтодор, 2001. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/48/48070/?ysclid=lp5lss9jcc316963682>.
2. *Перевозников Б. Ф.* Водоотвод с автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1982 г. 190 с.
3. *Шевцова И. М., Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Быканов И. В.* Предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве на примере г. Волгограда // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2021. Вып. 3(84), С. 73—86.
4. *Houghtalen R. J., Akan A. O.* Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality: Engineering Applications and Computer Modeling. John Wiley & Sons, 2002. 373 p.
5. *Findley D. J., Schroeder B. J., Cunningham C. M., Brown T. H.* Highway Engineering: Planning, Design, and Operations. Butterworth-Heinemann, 2021. 738 p.

⁷ Water Research. URL: <https://journalsearches.com/journal.php?title=Water%20Research>.

6. *Ильина А. А.* Об основных требованиях и правилах устройства, содержания и ремонта сооружений поверхностного водоотвода автомобильных дорог // Автомобильные дороги: информ. сб. Вып. 1. М.: Информавтодор, 2001. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/47/47971/?ysclid=lp5ma2k51720681129>.

© *Артемова С. Г., Чопко А. Г., Русскова В. В.*, 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Артемова С. Г., Чопко А. Г., Русскова В. В. Совершенствование системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 42—50.

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

Чопко Артем Григорьевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; navak1461@gmail.com

Русскова Виктория Витальевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viktoria00rus@icloud.com

Svetlana G. Artemova, Artem G. Chopko, Victoria V. Russkova

Volgograd State Technical University

IMPROVEMENT OF THE DRAINAGE SYSTEM FROM THE CARRIAGEWAY OF HIGHWAYS

The purpose of the work is to present an analysis and substantiation of the principle of ensuring the stability and efficiency of the highway management system by prioritizing over all other measures the effective implementation of road drainage systems, as well as consideration of the basic principles of design and operation of drainage systems for subsequent justification of the developed measures to improve the level of maintenance and efficiency of drainage systems from the carriageway of highways. A brief but informative description of the work is presented in the form of two articles. At this stage, the main reasons characterizing the road drainage system as the main component of the safety of transport and operational characteristics of the road are formulated. In turn, the object of the study will be public highways, both within localities and non-urban ones. The article describes the influence of drainage systems on the condition of the road surface.

К e y w o r d s: automobile road, drainage system, functional service life, safety.

For citation:

Artemova S. G., Chopko A. G., Russkova V. V. [Improvement of the drainage system from the carriageway of highways]. *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. 5, pp. 42—50.

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

Artem G. Chopko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; navak1461@gmail.com

Victoria V. Russkova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viktoria00rus@icloud.com

УДК 620.191.33:666.974.2

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

Волгоградский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ВНЕШНЕЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И МОДИФИКАЦИИ БЕТОННЫХ СОСТАВОВ

Рассмотрены основные принципы выбора эффективной гидроизоляции бетонных поверхностей с конструктивной и экономической точек зрения. Проведен сравнительный анализ методов защиты бетона от воздействия влаги. Описаны состав и принципы работы гидроизоляционных материалов на основе модифицированных эпоксидных смол. Даны характеристики системам защиты бетонных конструкций такого вида, их преимуществ. Авторами предложены новые составы полимерных композиций на основе порошкообразного полимерного отхода для внешней гидроизоляции бетонных поверхностей и модификации бетонных составов полимерной добавкой с положительным эффектом в виде улучшения эксплуатационных характеристик. Определено, что широкое использование модификации и направленное регулирование эксплуатационных характеристик эпоксидных смол позволяют создавать эффективные высококачественные материалы на их основе с заранее заданными свойствами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: антикоррозионная защита, гидроизоляционные материалы, полимерные добавки, наполненная двухкомпонентная полимерная система, строительные конструкции.

На сегодняшний день при проведении гидроизоляционных и антикоррозионных работ используют системный подход, что позволяет обеспечивать качество строительства. Основное внимание уделяется накоплению опыта, его обобщению и поиску путей дальнейшего развития этой специальной области строительного материаловедения.

Повышение сроков эксплуатации конструкций и сооружений в условиях воздействия агрессивных сред возможно за счет модификации бетона полимерными материалами как изнутри, так и внешней гидроизоляцией. Такая бетонная композиция представляет собой единое целое, что дает возможность эксплуатировать модифицированные составы с полимерным покрытием не только в условиях постоянного контакта с водой, но и при воздействии агрессивных сред. Благодаря совмещению модификации бетона полимерными добавками и гидрофобизации поверхности бетона полимерными пленками композиция приобретает повышенные физико-механические и антикоррозионные свойства [1, 2].

Надземные конструкции в отличие от подземных в основном подвергаются воздействию атмосферных осадков и низких температур на открытом воздухе. К покрытиям наружных конструкций предъявляются повышенные требования по водо- и морозостойкости, по совместимости компонентов покрытий с щелочной средой бетона, сохранению цветовой гаммы в процессе эксплуатации. К химически агрессивным жидкостям и водам относят минерализованные грунтовые воды, морскую воду, различные виды сточных вод промышленных предприятий [3]. От агрессивного воздействия атмосферы не защищены надземные металлические конструкции, гидротехнические сооружения в зоне переменного уровня воды. От электрокоррозии, вызываемой блуждающими токами, разрушаются опоры линий электропередач, трубопроводы, подземные металлические конструкции [4, 5].

Гидроизоляционные материалы различают по видам и свойствам. Основные виды строительной гидроизоляции: асфальтовая, минеральная, пластмассовая, металлическая.

Различают технику и способы выполнения устройства гидроизоляционных работ: окрасочную, штукатурную, оклеечную, литую, пропиточную, инъекционную, засыпную, монтируемую.

По основному назначению и конструктивным свойствам изоляция бывает: поверхностная, шпоночная, работающая на прижим и на отрыв, уплотняющая швы и сопряжения конструкций [6].

Важнейшие виды строительных гидроизоляционных материалов характеризуются водонепроницаемостью и водоустойчивостью, повышенной химической и физической стойкостью.

Для гидроизоляционных работ используются преимущественно материалы на полимерной основе, производимые из синтетических смол. Материалы на полимерной основе могут быть представлены в виде порошков, гранул и вязких жидкостей. Наиболее широкое применение получили тиоколовые герметики, эпоксидные краски, полиэтиленовые экраны, полиэфирные стеклопластики. Полимерная гидроизоляция на основе фурановых, фенолформальдегидных, карбамидных и других материалов очень распространена. Она производится как в России, так и за рубежом [5, 7].

При модификации полимеров появляются широкие возможности варьирования состава полимерной гидроизоляции для получения особых свойств материалов. Материалы для окрасочной гидроизоляции на основе модифицированных эпоксидных смол включают в себя растворители (ацетон, сольвент) и наполнители (тонкомолотый песок, цемент, кислотоупорный цемент, маршалит, пылевидный кварц, железный сурик). В качестве модификаторов используют пековый дистиллят, фурфуроловые смолы, сланцевые фенолы и др. Самыми водоустойчивыми композициями на основе диановых эпоксидных смол считаются ЭД-20 и ЭД-16.

Структура поверхности строительных материалов до нанесения эпоксидного покрытия и после нанесения в 1 и 2 слоя представлена на рис. 1, 2.

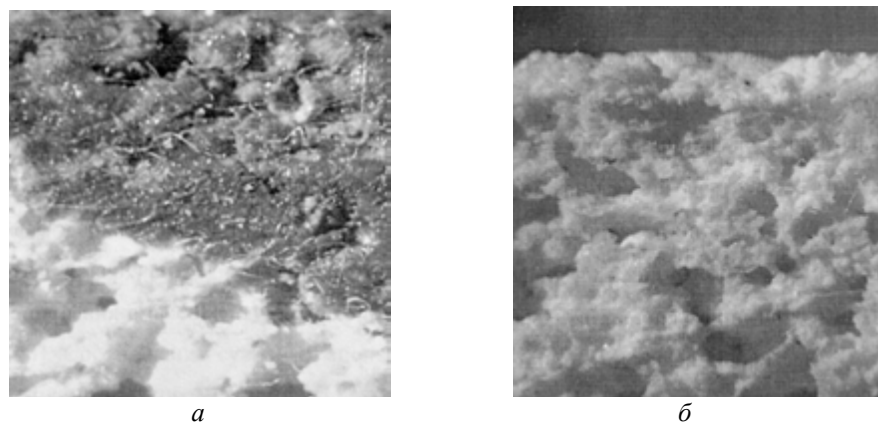
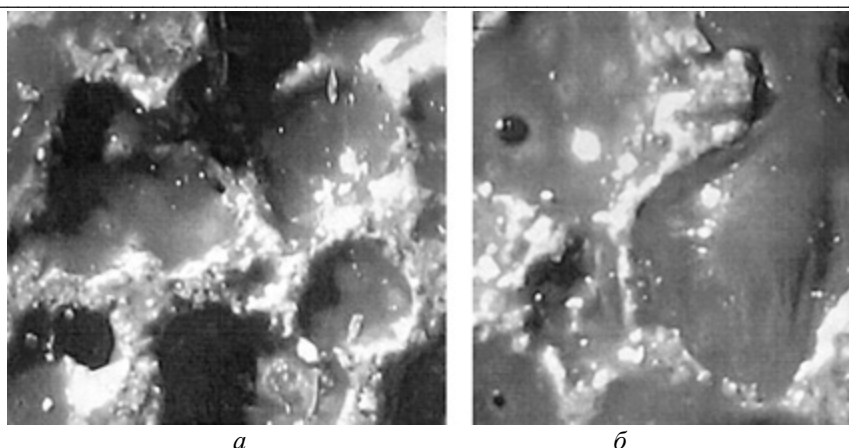


Рис. 1. Структура поверхности бокового среза образца шамотного кирпича: *а* — перед нанесением покрытия; *б* — после нанесения покрытия



a

б

Рис. 2. Микроскопическое изображение бетонной поверхности, обработанной ненаполненной полимерной композицией: *a* — однослойное покрытие; *б* — двухслойное покрытие

Совмещенные гидроизоляционные покрытия включают в себя гидрофобизацию поверхности конструкций из бетона, железобетона, кирпича и характеризуются двойным защитным эффектом, который заключается в сопротивлении проникновению агентов внешней среды со стороны пленки лакокрасочного материала и гидрофобного подслоя, проявляющего водоотталкивающие свойства по отношению к влаге, проникающей сквозь поры лакокрасочного покрытия. Для обработки поверхностей конструктивного материала используются гидрофобизирующие жидкости, например, ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94 и др. Толщина наносимого слоя полимера составляет 150...200 мкм [8].

Соотношение сухого компонента композиции и растворителя определяет толщину одного слоя, но она не является определяющим фактором для покрытия в целом. Эффективность композиции как полимерного покрытия обеспечивается за счет ряда строго последовательных химических реакций между компонентами полимерной системы [9].

Общая формула эпоксидной смолы представлена на рис. 3.

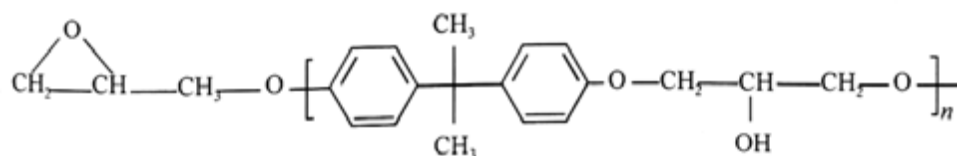


Рис. 3. Общая формула эпоксидной смолы

Для улучшения прочностных характеристик ее можно армировать дисперсным материалом минеральной и органической природы, что сопровождается формированием нового комплекса свойств композиции за счет межфазных взаимодействий на границе раздела «полимер — твердое тело», к которым относятся адсорбционные или молекулярные взаимодействия. Они ответственны за адгезию на межфазной границе, физические, механические и

другие свойства наполненных систем. Межфазные взаимодействия определяют особенности структуры граничного слоя: характер молекулярной упаковки, молекулярную подвижность, морфологию и другие его свойства [9, 10].

В таблице 1 приводится химический состав некоторых коммерческих наполнителей. В таблице 2 представлены свойства различных наполнителей полимерных композиций.

Таблица 1

Химический состав коммерческих наполнителей для эпоксидных смол и полимерных композитов

Наполнитель	Химический состав, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O+K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃
Кремнекислый алюминий	44,2	40,14	0,02	0,02	0,40	0,50	следы	—
Углекислый кальций	57,05	0,05	0,37	—	—	—	0,01	98,43
Кремнекислый магний	57,06	0,81	28,68	3,07	—	—	1,25	—
Каолин	46,25	39,15	—	0,20	—	—	0,64	—
Слюда	58,38	29,63	0,41	1,08	—	6,91	—	—
Двуокись кремния	99,92	0,04	—	—	—	—	0,016	—

Таблица 2

Свойства коммерческих наполнителей для полимерных композитов

Наполнитель	Плотность г/см ³	Средний размер частиц, мкм	Удельная теплопроводность, кал/(см·с·°C)	Температура плавления, °C	Объемный вес, г/см ³
Алюминий	2,72	30...150	0,26...0,54	650*	0,64...1,12
Железо	7,8	30...150	0,08...0,15	1525*	5,6...7,2
Сталь	7,75	30...150	0,08...0,15	1600*	5,6...7,2
Окись алюминия	3,99	30...150	0,08	1425**	1,28...1,6
Кремнекислый алюминий	2,58	0,55...7,3	0,006	1870***	0,64...1,6
Углекислый кальций	2,93	1...50	0,006	825***	0,96...2,56
Слюда	3,4	10...80	0,0016	—	1,28...1,6
Двуокись кремния	2,6	80...100	0,0032	1600*	1,28...1,6
Карбид кремния	3,1	30...2500	0,04...0,11	2700*	1,6...2,24
Тальк	2,4	30...50	0,004	—	1,28...1,6
Кварц	2,6	20...300	0,0032	1920**	1,28...1,92
Углерод	1,8	5...45	0,12	3445*	0,32...0,64
Графит	2,26	5...45	0,28...0,48	3665****	0,64...1,12

Примечания: * температура плавления; ** температура размягчения; *** температура разложения; **** температура возгонки

Для повышения эффективности гидроизоляции необходимо учитывать такие факторы, как экономичность трудовых затрат, сокращение расхода материалов, долговечность и надежность полученного покрытия.

При рассмотрении эксплуатационных и технологических факторов можно добавить, что эпоксидные модифицированные покрытия применимы практически в любых, даже наиболее сложных условиях эксплуатации — в агрессивной среде, при повышенных температурах (до 160 °С) и кавитационных воздействиях (скорость воды до 60 м/с) [10—12]. После учета всех факторов принимается конструктивное решение по гидроизоляции, определяются количество слоев, их толщина и вид покрытия. Высокая прочность сцепления эпоксидной гидроизоляции с основанием, а также высокая механическая прочность позволяют применять ее без защитного ограждения.

К основным недостаткам таких защитных композиций можно отнести достаточно сложный технологический процесс их производства. Современный рынок гидроизоляционных материалов наполнен импортными продуктами с высокой стоимостью. Отечественных аналогов значительно меньше, а их производство напрямую зависит от дефицита и дороговизны исходных материалов для их синтеза.

Создание гидроизоляционных композиций на основе эпоксидных смол может решаться путем использования техногенных отходов полимерного и минерального состава. Возможности применения полимерных отходов при их модификации и наполнении для гидроизоляционных композиций безграничны, как и синтез новых полимерных материалов, и в этом их большая притягательная сила и экономическая целесообразность [7, 13].

Авторами статьи разработаны составы полимерных композиций на основе порошкообразного полимерного отхода для внешней гидроизоляции бетонных поверхностей и модификации бетонных составов полимерной добавкой. Полимерный отход состоит на 99,5 % из эпоксидной смолы при ее модификации фенолоформальдегидной смолой в смеси с растворителем. В качестве наполняющей и усиливающей фазы использовались дисперсные абразивные частицы (АЧ) (состав I) и дискретные углеродные волокна (УВ) (состав II). Смешивание сухих компонентов наполненной двухкомпонентной полимерной системы (НДПС) холодного отверждения составов I и II осуществлялось при нормальных условиях. Реакция полимеризации НДПС с отверждением протекает в течение 10...16 ч. Жизнеспособность НДПС при температуре 20...23 °С составляет 4 ч. Применять композицию рекомендуется при положительных температурах. Сухая полимерная смесь может храниться до 3 лет при условии влагонепроницаемой упаковки. В качестве разбавителей использовались кетоны [11, 12]. Полимерные покрытия наносились на образцы, изготовленные из цементно-песчаного раствора ($V/C = 0,55$).

Для адекватной оценки соответствия эксплуатационных свойств разрабатываемых материалов предъявляемым требованиям проведен ряд экспериментальных исследований отдельных характеристик материала, получены сопоставимые экспериментальные данные.

Научно-практический интерес при разработке оптимальных составов полимерной композиции представляет исследование ее гидрофобизирующих свойств, обусловленных силами адгезионного сцепления пленки полимерного

покрытия с бетонной подложкой, максимальные значения которых проявляются при малом наполнении НДПС [14, 15]. При этом полимерное покрытие НДПС не только защищает бетонное основание от воздействия агрессивных сред, но и упрочняет его. Эпоксидная смола, модифицированная фенолоформальдегидной смолой, в составах НДПС позволяет рассматривать композицию как достаточно реакционноспособную полимерную добавку. Взаимопроникновение полимерной и гидратированной цементной фаз способствует образованию соматричной структуры бетона, которая препятствует распространению микротрещин за счет перекрытия их полимерными пленками, что способствует усилению сцепления продуктов гидратации цемента с заполнителем. Толщина покрытия составляет 300...350 мкм.

Результаты испытаний гидрофобизирующих свойств составов НДПС представлены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение водопроницаемости ($\times 10^{-5}$) образцов в зависимости от времени экспонирования в воде

Цементно-песчаный образец	Время выдержки в воде, сут			
	30	60	90	180
Без покрытия	6,88	13,11	18,21	18,19
С покрытием без обработки наполнителей	3,27	2,69	2,48	2,19
С покрытием с обработкой наполнителя	2,31	2,25	1,86	1,84

Нанесение полимерного состава на поверхность образцов привело к уменьшению водопроницаемости в 2 раза. При дальнейшей выдержке образцов с полимерным покрытием наблюдается снижение показателя водопроницаемости и его стабилизация. Обработка поверхности наполнителя химической добавкой привело к дополнительному снижению водопроницаемости на 40 % за счет формирования более плотной структуры наполненной композиции и дополнительного сцепления цементной матрицы с модифицированной поверхностью наполнителей.

Результаты испытаний прочностных свойств составов НДПС представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний прочности наполненных составов НДПС

Прочность образцов, МПа	Контрольный образец	Составы наполненной композиции					
		Наименование наполнителей и их % введения от массы полимерной основы					
		АЧ (I)		УВ (II)		АЧ + УВ (1:1)	
		5	15	5	15	5	15
$\sigma_{\text{разр}}$	2,25	2,42	2,32	3,57	4,09	4,26	5,28
$\sigma_{\text{сж}}$	36,32	40,03	40,27	37,78	38,75	52,81	58,91
$\sigma_{\text{изг}}$	13,31	14,14	14,76	24,08	25,41	27,83	29,88

Результаты испытаний показывают, что рост прочностных характеристик образцов с введением НДПС характерен как при наполнении абразивными

частицами, так и углеводными волокнами. Особенно высокие показатели прочности наблюдаются при комплексном наполнении полимерной системы. Увеличение содержания наполнителей от 5 до 15 % дает прирост прочности в среднем на 5 %. Прочность при разрыве увеличивается на 60 %, прочность при сжатии — на 50 %, прочность при изгибе — на 30 %.

Таким образом, модификация бетона НДПС приводит к улучшению его эксплуатационных характеристик. Сочетание двух эффектов в одной композиции на основе полимерных и минеральных отходов делает ее экономически и экологически целесообразной.

Анализ достоинств и недостатков применяемых гидроизоляционных материалов на эпоксидной основе, а также технологий их изготовления и рынка исходных компонентов дает основание для проведения исследований в части использования НДПС в качестве гидроизоляционного покрытия бетонных поверхностей. Основанием для разработки новых составов полимерных композиций служит использование в качестве ингредиентов НДПС отходов производства полимерного и минерального состава. Введение дисперсного порошка НДПС в качестве полимерной добавки в бетонные составы выявляет потенциальные возможности получения высококачественных бетонов нового поколения за счет направленного формирования структуры цементного камня. Снижение пористости и повышение плотности модифицированных НДПС бетонов позволяет расширить область их использования [16]. Технология приготовления НДПС, заключающаяся в смешивании дисперсных порошкообразных полимерных ингредиентов композиции и наполнителей, делает ее привлекательной для производителей и строителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зубов П. И., Сухорева Л. А.* Структура и свойства полимерных покрытий. М. : Химия, 2009. 25 с.
2. *Соломатов В. И., Бобрышев А. Н., Химмлер К. Г.* Полимерные композиционные материалы в строительстве. М. : Стройиздат, 2001. 312 с.
3. *Рейбман А. И.* Защитные лакокрасочные покрытия. М. : Химия, 2002. 615 с.
4. *Черняк К. И.* Эпоксидные компаунды и их применение. Л. : Судостроение, 1985. 400 с.
5. *Рейнбер П. А.* Физико-химическая механика дисперсных структур. М. : Наука, 2009. 316 с.
6. *Лосев И. П., Тростянская Е. Б.* Химия синтетических полимеров. М. : Химия, 2008. 615 с.
7. *Foreman M. R., Vollmer F.* Optical Tracking of Anomalous Diffusion Kinetics in Polymer Microspheres // *Physical Review Letters*. 2015. Vol. 114. Iss. 11. Pp. 257—266.
8. *Евстафьева Н. Ю., Стефаненко И. В., Акчурин Т. К.* Полимерная система для защиты строительных изделий от коррозионных разрушений // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе : сб. науч. тр. по материалам VII международной науч.-практ. конф. Саратов : СГТУ, 2019. С. 194—199.
9. *Burkhanova R. A., Akchurin T. K., Stefanenko I. V.* Modified heat-resistant concrete using slag aggregates // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 962. 9 p. URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022015/pdf>.
10. *Skazlic M., Skazlic Z., Majer J.* Application of high performance fibre reinforced shotcrete for tunnel primary support // *Proceedings of the 10th International Conference. Shotcrete for Underground Support*. 2012. Pp. 206—214.
11. *Shi X. S., Collins E. G., Zhao X. L.* Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopolymers recycled concrete // *Journal of Hazardous Materials*. 2012. Vol. 237. Pp. 20—29.
12. *Евстафьева Н. Ю., Стефаненко И. В., Акчурин Т. К.* Modification of concrete with polymer additives based on secondary resources // *Material Science Forum*. 2020. Vol. 974. Pp. 277—282.

13. *Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В.* Полимерные системы гидроизоляционной и антикоррозионной защиты строительных материалов и конструкций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 43—52.

14. *Журков С. Н., Куксенко В. С., Слуцкер А. И.* Микромеханика разрушения полимеров // Проблемы прочности. 1971. № 2. С. 45—50.

15. *Бартенев Г. М., Зеленев Ю. В.* Физика и механика полимеров. М. : Высшая школа, 1983. 391 с.

16. *Тагер А.* Физико-химия полимеров. М. : Химия, 2007. 536 с.

© Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В., 2023

*Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В. Разработка полимерных композиций для внешней гидроизоляции бетонных поверхностей и модификации бетонных составов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 51—59.

Об авторах:

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

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

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

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

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

Volgograd State Technical University

PRODUCTION OF POLYMER COMPOSITIONS FOR EXTERNAL WATERPROOFING OF CONCRETE SURFACES AND MODIFICATION OF CONCRETE COMPOSITIONS

The article discusses the basic principles for choosing effective waterproofing of concrete surfaces from a constructive and economic point of view. A comparative analysis of methods for protecting concrete from moisture has been carried out. The composition and operating principles of waterproofing materials based on modified epoxy resins are described. The characteristics of protection systems for concrete structures of this type and their advantages are given. The authors proposed new compositions of polymer compositions based on powdered polymer waste for external waterproofing of concrete surfaces and modification of concrete compositions with a polymer additive with a positive effect in the form of improved performance characteristics. It has been determined that the widespread use of modification and targeted regulation of the operational characteristics of epoxy resins makes it possible to create effective high-quality materials based on them with predetermined properties.

Key words: anti-corrosion protection, waterproofing materials, polymer additives, filled two-component polymer system, building structures.

For citation:

Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. [Production of polymer compositions for external waterproofing of concrete surfaces and modification of concrete compositions]. *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. 5, pp. 51—59.

About authors:

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

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

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

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

УДК 691.535, 620.22

М. А. Гончарова^а, Т. К. Акчурин^б, В. В. Дергунова^а, Е. С. Дергунова^а

^а *Липецкий государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ПРИМЕНЕНИЕ РЯДА БАКТЕРИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Показано применение ряда бактериальных агентов, обладающих уреазной активностью и способных стимулировать образование карбоната кальция. Для получения новой фазы предварительно проведен подбор пары «питательная среда — микроорганизмы», критерии выбора — уреазная активность и способность к росту (КОЕ/мл). Оптимальные критерии получены у штаммов бактерий 1, 2, 8 и соответствующих питательных сред I, III, II. Сформированы цементные системы следующего состава: портландцемент — мелкий заполнитель — крупный заполнитель — биодобавка. В качестве мелкого заполнителя использованы различные виды песка. Оценены цементные системы по критериям прочности на сжатие, на изгиб. Максимальную прочность показала система ЦС-1 на основе биодобавки 1. Проведены микроскопические исследования, оценена способность к восстановлению, с применением микрорентгеноспектрального анализа установлено изменение химического состава при появлении новой фазы.

Ключевые слова: портландцемент, восстановление материалов, биодобавки, уреазная активность, прочность, биоминерализация.

Бетон состоит из трех основных компонентов: цемента, воды и заполнителя. Низкая стоимость и доступность этих материалов, прочность и долговечность бетона в дополнение к простоте изготавливаемых конструкций сделали его одним из наиболее широко используемых строительных материалов. К факторам, приводящим к образованию трещин и разрушению бетона, относятся колебания температуры, агрессивные газы, суровые условия окружающей среды и попадание химических веществ.

Раннее образование микротрещин в бетонных конструкциях значительно влияет на их работоспособность, приводит к высоким затратам на техническое обслуживание. Хотя цементный бетон обладает некоторыми способностями к самовосстановлению, этого недостаточно для полного заживления трещин. Обычно, несмотря на негативное воздействие на окружающую среду и токсичность, используются такие ремонтные материалы, как эпоксидная смола или расширяющиеся цементные растворы [1—6].

Альтернативой, благоприятной для окружающей среды, стало использование технологии биоминерализации для эффективного процесса заживления трещин [1—3]. Биоминерализация включает этап гидролиза мочевины и образования CaCO_3 под действием фермента уреазы, выделяемого бактериями, в среде, насыщенной ионами кальция [4—10]. Осадок, полученный таким образом, считается экологически чистым и недорогим материалом с многообещающим потенциалом для широкого спектра инженерных решений.

Добавление бактерий, в результате жизнедеятельности которых образуется CaCO_3 , в цементирующие системы является новым, экологически чистым методом, ставшим в последнее время объектом интереса исследователей из-за хорошей совместимости с бетонной матрицей и цементными компози-

тами [10—12]. Бактерии вводятся в цементирующую систему различными методами, в т. ч. добавлением бактерий непосредственно в смесь, инкапсулированием бактерий в состоянии покоя до момента активации, распылением или впрыскиванием бактерий на поверхность бетона [13].

Первые исследования свойств кальцитовых отложений были проведены в 1995 г. Британский исследователь У. Голлапуди с коллегами [14] использовали этот метод для уменьшения пористости почвы с высокой проницаемостью путем введения бактерий в почву. Они смешали раствор хлорида кальция, содержащий мочевины и углекислоту, непосредственно с почвой и спрессовали смесь в колонне из песка. Обнаружилось, что поры и трещины в колонне закрылись [9]. Также проводились исследования по разработке методов, которые используют потенциал бактерий, продуцирующих минералы, для улучшения свойств бетона. Ранее многообещающие результаты получены при использовании различных бактерий в бетонной смеси или на поверхности бетона для заделки трещин в бетоне [10, 11], повышающие прочность бетона на сжатие [11, 12] и долговечность бетона [13—15].

Проводились исследования, в которых в качестве носителей для инкапсуляции биоагентов использовались легкие заполнители, микрокапсулы, гидрогель и др. Во всех этих случаях подчеркивалось, что органические питательные вещества, такие как дрожжевой экстракт/сахароза/глюкоза и питательная среда с мочевиной [15], должны быть включены в систему цементирования, чтобы потенциально позволить живым клеткам расти и функционировать. Кроме того, вместе с бактериями следует добавлять дополнительные источники кальция, чтобы инициировать образование CaCO_3 . В исследовании [16] установлено, что в присутствии достаточного количества питательных веществ и кислорода бактерии активизируются и вырабатывают новую фазу, содержащую кальций.

Различные исследователи разработали микробиологические методы самовосстановления для устранения негативных последствий — заживления трещин [17], уменьшения или модификации пористости [8] и водонепроницаемости [16] и др. Биоминерализация положительно влияет на прочность и долговечность цементных композитов, может снизить водопоглощение и карбонизацию бетона в качестве альтернативной обработки поверхности [18].

Основываясь на результатах, представленных в упомянутых исследованиях, необходимо отметить, что методы биоминерализации стремительно развиваются, их исследование является актуальной задачей строительного материаловедения. **Целью** нашей работы является изучение ряда бактериальных агентов, способных участвовать в процессах укрепления и/или восстановления цементных композитов.

В процессе исследования решались следующие задачи:

1. Выбор оптимальной пары «питательная среда — штамм» для быстрого роста биомассы (критерии выбора — уреазная активность и КОЕ/мл).
2. Формирование цементных систем состава: цемент — песок — щебень — биодобавка.
3. Оценка полученных цементных систем по критериям прочности на сжатие, на изгиб.
4. Микроскопические исследования и оценка появления новой фазы с течением времени, определение химического состава новой фазы.

В качестве биодобавок использовали изолированные штаммы бактерий *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Clostridium difficile*, *Lactobacillus acidophilus*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae* (Weifang Yuexiang Chemical Co., Ltd., China). Бактерии выращивали при температуре 35 ± 2 °С в аэрированном ферментере со скоростью мешалки 300...450 об/мин с применением различных питательных сред (табл. 1). Через 48 ч бактериальная культура достигла оптической плотности (OD 546 Нм) около 4,6...5,5. Уреазную активность биомассы определяли электрохимическим методом. КОЕ определяли с применением тест-слайдеров. Для изучения закономерностей процесса роста новой фазы использовали растровый электронный микроскоп TESCAN MIRA 3 SBH с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Oxford Instruments, для оптической микроскопии — микроскоп X400 DigiMicroSkal (DNT, Германия).

Таблица 1

Питательные среды

Наименование питательной среды	Состав, г/л	pH при 25 °С
Среда I	Пептический перевар животной ткани — 1; глюкоза — 1; натрия хлорид — 5; натрия гидрофосфат — 1,2; калия дигидрофосфат — 0,80; феноловый красный — 0,012; агар-агар — 15,0	$6,8 \pm 0,2$
Среда II	Ферментативный гидролизат казеина — 10,00; глюкоза — 1,00; натрия хлорид — 5,00; феноловый красный — 0,010; агар-агар — 2,00	$6,8 \pm 0,2$
Среда III	Желатиновый пептон — 1,0; натрия хлорид — 5,0; декстроза — 1,0; калия гидрофосфат — 2,0; феноловый красный 0,012	$6,9 \pm 0,2$

Использовали следующие материалы:

- портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ЦЕМРОС, Липецк);
- крупный заполнитель — щебень (ООО РИЗНГРУПП);
- мелкий заполнитель — песок полифракционный, песок полевошпатовый, песок речной.

Водоцементное отношение цементных систем варьировали от 0,4 до 0,6. Прочностные характеристики бетона определяли согласно ГОСТ 10180—2012.

Многие бактерии в процессе своей жизнедеятельности способствуют образованию различных минералов, в частности карбоната кальция при наличии источников кальция и мочевины в процессе биоминерализации. Проведено много исследований с использованием различных грамположительных бактерий в песчаных системах [14]. Однако перенос процесса биоминерализации в цементные системы представят особенный интерес и актуальность.

В настоящее время известны бактерии, обладающие уреазной активностью, их способность к осаждению карбоната кальция также может быть использована в технологии биоминерализации (рис. 1).

Важными факторами в технологии биоминерализации являются подбор состава оптимизированной питательной среды для культивирования штаммов

бактерий и оценка влияния состава питательной среды на количество колониобразующих единиц (количество жизнеспособных клеток), а также на уреазную активность жидких культур на основе исследуемых штаммов.

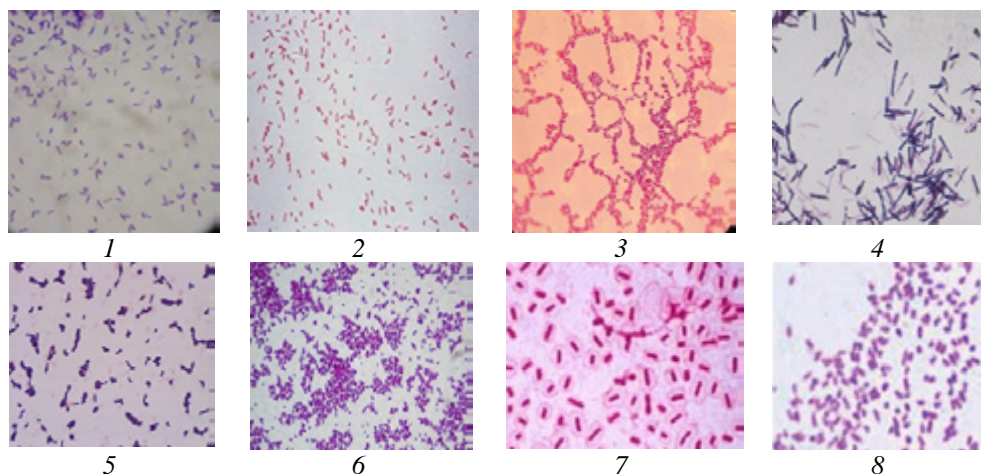


Рис. 1. Микрофотографии колоний бактерий, окрашенных по Грамму (X400 DigiMicroSkal, DNT, Германия): 1 — *Bacillus subtilis*; 2 — *Pseudomonas aeruginosa*; 3 — *Escherichia coli*; 4 — *Clostridium difficile*; 5 — *Lactobacillus acidophilus*; 6 — *Staphylococcus aureus*; 7 — *Klebsiella pneumoniae*; 8 — *Enterobacter cloacae*

Определены показатели роста штаммов бактерий на различных питательных средах в условиях периодического культивирования, при этом в каждую питательную среду добавляли 0,05 М CaCl₂ и 0,1 М растворы мочевины (табл. 2).

Таблица 2

Влияние вида штамма микроорганизмов и состава питательной среды на показатель роста и уреазную активность

№ штамма	Титр/уреазная активность, КОЕ/мл/мг/NH ₃ /г/сут	Среда I	Среда II	Среда III
1	<i>Bacillus subtilis</i>	$(3,07 \pm 0,05) \cdot 10^9 / 56$	$(2,90 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 35$	$(2,07 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 32$
2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$(5,81 \pm 0,03) \cdot 10^7 / 50$	$(4,11 \pm 0,06) \cdot 10^7 / 45$	$(8,17 \pm 0,06) \cdot 10^9 / 55$
3	<i>Escherichia coli</i>	$(4,01 \pm 0,04) \cdot 10^8 / 41$	$(4,36 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 43$	$(7,28 \pm 0,06) \cdot 10^5 / 19$
4	<i>Clostridium difficile</i>	$(4,27 \pm 0,06) \cdot 10^5 / 42$	$(4,54 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 45$	$(6,89 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 51$
5	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	$(4,31 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 43$	$(5,07 \pm 0,06) \cdot 10^7 / 49$	$(8,55 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 55$
6	<i>Staphylococcus aureus</i>	$(4,45 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 44$	$(6,07 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 50$	$(5,66 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 50$
7	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	$(2,05 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 22$	$(5,55 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 25$	$(5,67 \pm 0,06) \cdot 10^7 / 32$
8	<i>Enterobacter cloacae</i>	$(4,95 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 48$	$(7,55 \pm 0,06) \cdot 10^9 / 53$	$(5,80 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 28$

Максимальное значение КОЕ на уровне 10⁹ показали бактерии штаммов 1, 2, 8 на питательных средах I, III и II соответственно. Для данных микроорганизмов значение уреазной активности — на уровне 53...56 мг NH₃/г/сут.

После выявления оптимальных пар «штамм микроорганизма — питательная среда» сформированы составы цементных систем (ЦС 1-9) для испытаний и определения способности восстановления с применением технологии биоминерализации (табл. 3). Составы формировали с учетом типа биодобавки (пара «штамм — питательная среда»), водоцементного отношения, типа мелкого заполнителя.

Таблица 3

Составы цементных систем

Компонент	ЦС-1	ЦС-2	ЦС-3	ЦС-4	ЦС-5	ЦС-6	ЦС-7	ЦС-8	ЦС-9
Цемент ЦЕМ I	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Мелкий заполнитель: песок полифракционный	1400	—	—	1400	—	—	1400	—	—
песок полевошпатовый	—	1400	—	—	1400	—	—	1400	—
песок речной	—	—	1400	—	—	1400	—	—	1400
Крупный заполнитель: щебень	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280
Биодобавка	1	2	8	1	2	8	1	2	8
Соотношение добавка/цемент, %	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Одним из важных составляющих бетона является мелкий заполнитель. Он отличается зерновым составом, морфологией поверхности и прочностными свойствами в зависимости от места добычи. Определение химического состава мелкого заполнителя проводили с помощью метода АЭС-ИСП (табл. 4.)

Таблица 4

Химический состав мелкого заполнителя

Содержание, мас. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Песок полифракционный	97,836	0,846	0,443	0,035	0,011	0,245	0,105	0,120
Песок полевошпатовый	77,124	12,5	0,11	0,27	5,3	3,3	0,14	0,100
Песок речной	95,132	1,217	0,621	0,50	0,02	0,98	0,19	0,001

Были использованы пески 3 видов, свойства которых представлены в табл. 5. Определение водопотребности песков проводили согласно ГОСТ 9758—2012.

Установлена зависимость прочности на сжатие и изгиб от типа песка и вида штамма микроорганизмов (табл. 6).

Т а б л и ц а 5

Свойства песков

Показатель	Вид песка		
	полифракционный	полевошпатовый	речной
Модуль крупности	3,33	2,85	1,55
Пустотность, %	36,8	37,5	43,2
Водопоглощаемость песка	4	6	8
Фракционный состав, мм			
2,5	24	18	0
1,25	61	36	0
0,63	66	45	3
0,315	79	76	75
0,14	98	97	98
менее 0,14	1	1	3

Т а б л и ц а 6

*Прочность образцов бетонов, полученных с применением различных видов
 мелкого заполнителя и биодобавок*

Тип цементной системы	Тип биодобавки	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
ЦС-1	1	72,56	12,3
ЦС-2	2	48,89	12,9
ЦС-3	8	95,56	13,5
ЦС-4	1	51,45	11,8
ЦС-5	2	42,45	11,9
ЦС-6	8	72,95	11,5
ЦС-7	1	49,72	13,0
ЦС-8	2	41,24	13,2
ЦС-9	8	62,32	13,3

Использование различных типов бактерий приводит к различной степени осаждения кристаллов карбоната кальция. Так в ряду бетонных образцов, изготовленных с одним и тем же видом песка, прочность на сжатие достигает максимума при использовании биодобавки 8, обладающей высокой уреазной активностью. Также свойства бетона зависят от вида применяемого мелкого заполнителя. С увеличением модуля крупности песка достигается наибольшая прочность (более 95 Мпа — на сжатие и 13,5 Мпа — на изгиб). С увеличением значения В:Ц происходит снижение прочности на сжатие (рис. 2), эта тенденция сохраняется при всех видах биодобавок и мелкого заполнителя, независимо от крупности и фракционного состава.

Для исследования способности восстановления цементных композитов с биодобавками взяты образцы бетона, для фиксации новой фазы карбоната кальция применены: растровый электронный микроскоп TESCAN MIRA 3 SBH с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Oxford Instruments, оптический микроскоп X400 DigiMicroSkal. Наблюдения микроструктуры, а также морфологии межфазной переходной зоны между цементным тестом и заполнителем проводились на срезах размером

5×40×40 мм. Установлен валовый химический элементный состав образца бетона с распределением по фазам (рис. 3).

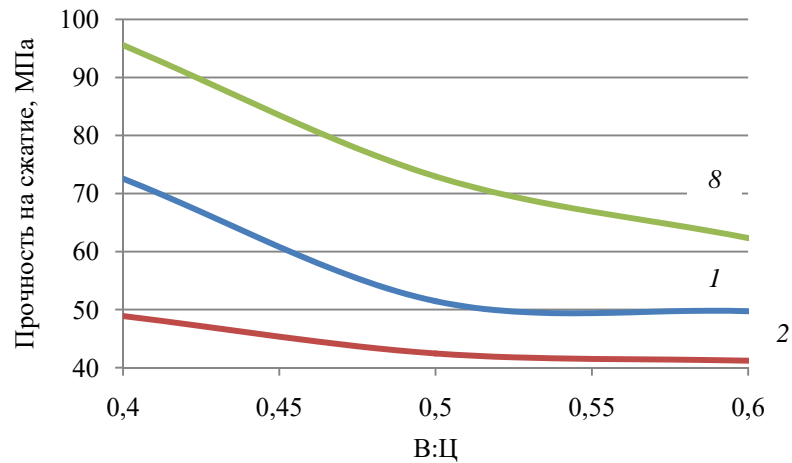


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие бетона после 28 сут твердения от значения В:Ц при использовании различных видов биодобавок

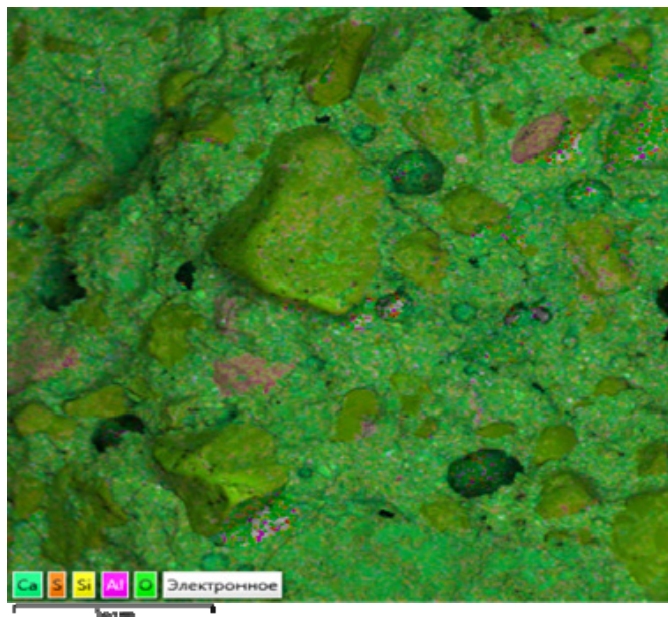


Рис. 3. Микрофотография поверхности бетонного образца, полученная с помощью растрового электронного микроскопа TESCAN MIRA 3

Осажденный карбонат кальция обладает различными полиморфами с настраиваемыми физико-химическими свойствами, которые играют решающую роль в восстановлении цементных систем. Особое внимание обращено на поры бетонного образца. В выбранных точках проведен микрорентгеноспектральный анализ (рис. 4). Установлено, что содержание элементов в поровом пространстве отличается за счет образования CaCO_3 .

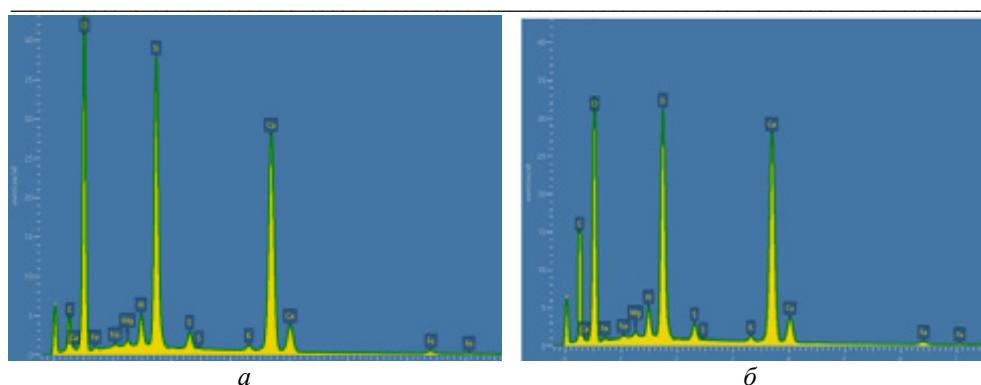


Рис. 4. Микрорентгеноспектральный анализ порового пространства бетонного образца: *а* — образец получен без применения биодобавок; *б* — образец получен с применением биодобавки на основе *Enterobacter cloacae*

SEM-микрофотография контрольного образца цементной системы с добавкой бактериальных клеток, выдержанной в течение 28 дней, показана на рис. 5.

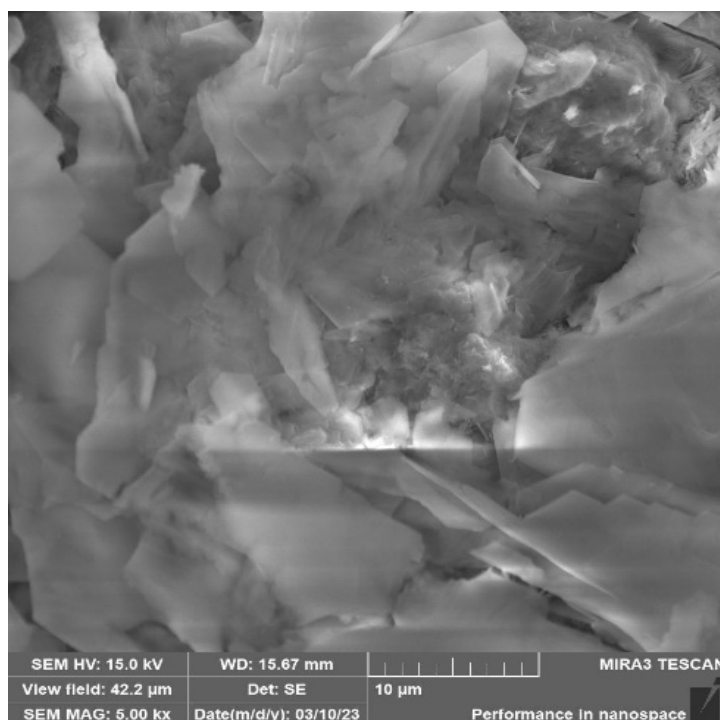


Рис. 5. SEM-микрофотография цементной системы с добавкой бактериальных клеток, выдержанной в течение 28 сут

По наблюдениям SEM, карбонат кальция, осажденный бактериальными клетками, можно четко различить в порах матрицы образца; между тем фаза кальцита не наблюдается в контрольных образцах, изготовленных без какого-либо добавления бактериальных клеток, что подтверждается результатами микрорентгеноспектрального анализа.

Выводы

Проведен подбор пары «питательная среда — штамм», оптимальной для роста биомассы (критерии выбора — уреазная активность и КОЕ/мл). Установлено, что оптимальные критерии были получены у штаммов 1, 2, 8 и соответствующих питательных сред I, III, II. Сформированы цементные системы следующего состава: цемент — мелкий заполнитель — крупный заполнитель — биодобавка. В качестве мелкого заполнителя использовали различные виды песка. Оценены полученные цементные системы по критериям прочности на сжатие, на изгиб. Установлено, что максимальную прочность показала система ЦС-1 на основе биодобавки 1 — *Bacillus subtilis* и полифракционного песка. Проведены микроскопические исследования, оценено с применением микрорентгеноспектрального анализа появление новой фазы в течение времени, установлено изменение химического состава при появлении новой фазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fouladi A. S., Arulrajah A., Chu J., Horpibulsuk S. Application of Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) technology in construction materials: a comprehensive review of waste stream contributions // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 388. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131546.
2. Abo-El-Enain S. A., Ali A. H., Talkhan F. N., Abdel-Gawwad H. A. Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar // HBRC Journal. 2013. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 36—40.
3. Smitha M. P., Suji D., Shanthi M., Adesina A. Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete // Cleaner Materials. 2022. Vol. 3. 100050.
4. Luo M., Qian Ch. Influences of bacteria-based self-healing agents on cementitious materials hydration kinetics and compressive strength // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 121. Pp. 659—663.
5. Balam N. H., Mostofinejad D., Eftekhari M. Use of carbonate precipitating bacteria to reduce water absorption of aggregates // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 141. Pp. 565—577.
6. Amjad H., Khushnood R. A., Ahmad F. Enhanced fracture and durability resilience using bio-intrigged sisal fibers in concrete // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 76. 107008.
7. Гончарова М. А., Дергунова Е. С. Особенности применения процесса биоминерализации для улучшения структурно-прочностных свойств бетона // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 25—31.
8. Sumit J., Shweta G., Sudhakara R. M. Influence of nutrient components of media on structural properties of concrete during biocementation // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 158. Pp. 601—613.
9. Bio-induction and bioremediation of cementitious composites using microbial mineral precipitation — A review / Y. Al-Salloum, S. Hadi, H. Abbas, T. Almusallam, M. A. Moslem // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 154. Pp. 857—876. Comprehensive microbiological studies on screening bacteria for self-healing concrete / Ch. S. Sri Durga, N. Ruben, M. Sri Rama Chand, M. Indira, Ch. Venkatesh // Materialia. 2021. DOI: 10.1016/j.mta.2021.101051.
10. Mondal S., Ghosh A. Spore-forming *Bacillus subtilis* vis-à-vis non-spore-forming *Deinococcus radiodurans*, a novel bacterium for self-healing of concrete structures: A comparative study // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 266. Pp. 121122.
11. Choi S.-G., Wang K., Wen Zh., Chu J. Mortar crack repair using microbial induced calcite precipitation method // Cement and Concrete Composites. 2017. Vol. 83. Pp. 209—221.
12. Junwale R., Nikode A., Bhutange S., Latkar M. V. Crack healing in cement mortar using enzyme induced calcium carbonate precipitation // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 394. 132223.
13. Gollapudi U., Knutson C., Bang S., Islam M. A new method for controlling leaching through permeable channels // Chemosphere. 1995. No. 30. Pp. 695—705.

15. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития / В. В. Строкова, Д. Ю. Власов, О. В. Франк-Каменецкая, У. Н. Духанина, Д. А. Балицкий // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 83.

16. Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова Е. С. Особенности использования уреазных биодобавок в цементных системах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 64—69.

17. Полиморфизм и морфология карбонатов кальция в технологиях строительных материалов, использующих бактериальную биоминерализацию (обзор) / В. В. Строкова, У. Н. Духанина, Д. А. Балицкий, О. И. Дроздов, В. В. Нелюбова, О. В. Франк-Каменецкая, Д. Ю. Власов // Строительные материалы. 2022. № 1-2. С. 82—122.

18. Духанина У. Н., Строкова В. В., Балицкий Д. А. Влияние микробной карбонатной минерализации на гидрофобность поверхности цементного камня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 7. С. 19—25.

© Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова В. В., Дергунова Е. С., 2023

Поступила в редакцию
в октябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова В. В., Дергунова Е. С. Применение ряда бактериальных агентов для восстановления цементных композитов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 60—70.

Об авторах:

Гончарова Маргарита Александровна — д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; mgoncharova777@yandex.ru

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

Дергунова Валентина Витальевна — студентка, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; v123alentina@gmail.com

Дергунова Елена Сергеевна — канд. хим. наук, доц., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; dergunova14@yandex.ru

**Margarita A. Goncharova^a, Talgat K. Akchurin^b, Valentina V. Dergunova^a,
Elena S. Dergunova^a**

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

APPLICATION OF BACTERIAL AGENTS FOR THE RESTORATION OF CEMENT COMPOSITES

The article shows the use of a number of bacterial agents with urease activity and capable of stimulating the formation of calcium carbonate. To obtain a new phase, a pair of “nutrient medium — microorganisms” was previously selected, the selection criteria were urease activity and the ability to grow CFU/ml). It was found that the optimal criteria were obtained from bacterial strains 1, 2, 8 and the corresponding nutrient media I, III, II. Cement systems of the following composition were formed: Portland cement — fine aggregate — large aggregate — bioadditive. Various types of sand were used as a fine aggregate. Cement systems were evaluated according to the criteria of compressive strength, bending strength. It was found that the maximum strength was shown by the CS-1

system based on dietary supplement 1. Microscopic studies were also carried out, the ability to recover, i.e. the appearance of a new phase over time, was assessed, using micro-X-ray spectral analysis, changes were found.

К е у w o r d s: portland cement, restoration of materials, dietary supplements, urease activity, strength, biomineralization.

For citation:

Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova V. V., Dergunova E. S. [Application of bacterial agents for the restoration of cement composites]. *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. 5, pp. 60—70.

About authors:

Margarita A. Goncharova — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; magoncharova777@yandex.ru

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

Valentina V. Dergunova — Student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; v123alentina@gmail.com

Elena S. Dergunova — Candidate of Chemistry, Docent, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; dergunova14@yandex.ru

УДК 666.972

О. В. Тараканов^а, Т. К. Акчурин^б, О. В. Душко^б, И. В. Стефаненко^б, Я. А. Санягина^в

^а Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

^б Волгоградский государственный технический университет

^в ООО «ЗД-Бетон»

ФОРМИРОВАНИЕ РАННЕЙ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выполнен анализ возможных механизмов гидратации и твердения модифицированных цементных систем. Проведены исследования кинетики начального структурообразования по показателям изменения пластической прочности (P_t). Показано, что значение P_t зависит от видов катионов добавок и их дозировки. При увеличении количества добавок суперпластификаторов и электролитов отмечается замедление начального структурообразования. Использование в технологии бетонов нового поколения совместно с суперпластификаторами комплексных органоминеральных добавок, в т. ч. на основе фракционированных и молотых песков, позволяет получать высокопрочные бетоны с пределом прочности при сжатии до 120 МПа. Высокая прочность бетонов до 40...70 МПа может быть достигнута уже через 1...3 сут. Применение быстротвердеющих высокопрочных бетонов в строительном производстве позволит сокращать сроки возведения конструкций и трудоемкость бетонных работ.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидратация и твердение цементных материалов, гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, высокопрочные бетоны, раннее структурообразование, пластическая прочность, кинетика твердения, ранняя прочность, суперпластификаторы, ускорители твердения, влияние катионов и анионов, минеральные микронаполнители, органоминеральные добавки.

Бетон является основным конструктивным материалом в современном строительном производстве. Анализ теоретических и экспериментальных исследований, касающихся физико-механических свойств бетона и его долговечности показал, что во многом эти параметры определяются микроструктурой и кинетикой набора прочности в ранние сроки. Характер изменения прочности и основных свойств бетона зависит от многих факторов, основными из которых являются температурно-влажностные условия и кинетика изменения и трансформации микроструктуры бетона вследствие перекристаллизации гидратов.

Известны многочисленные случаи, когда бетонные и железобетонные конструкции преждевременно теряли свою несущую способность и разрушались вследствие возникновения значительных структурных напряжений, трещин и последующих коррозионных процессов [1, 2]. Для прогнозирования долговременного поведения бетона и железобетона в конструкциях необходимо понимание его внутреннего состояния на уровнях микро- и макроструктуры, которое во многом определяет физико-технические свойства материала. Многие исследования, посвященные характеру изменения прочности бетона во времени, свидетельствуют о ее интенсивном росте в период до 28 сут и дальнейшем медленном нарастании в период 60 сут и более [3, 4]. Однако находясь длительное время в климатических условиях, многократно изменяющихся в течение календарного года, бетон как пористый материал реагирует на эти условия, в его структуре возникают хотя и небольшие, но ощутимые

внутренние напряжения, результатом которых являются периодические скачки роста и снижения прочности — так называемый «волнообразный» характер изменения прочности [5—8]. Это явление связано с процессами перекристаллизации гидратов и возможности протекания вторичной гидратации в структуре уже сформировавшейся матрицы, что и приводит к разуплотнению и «расшатыванию» структуры. В этой связи для отдельных эксплуатационных условий рекомендуются бетоны ускоренного твердения, изготавливаемые с применением процессов автоклавирования, термической и термовлажностной обработки и т. д. [9—14].

В современных условиях, когда применение многофункциональных химических модификаторов бетонов становится массовым, крайне важными являются исследования процессов формирования микроструктуры бетона и ранней прочности.

Портландцемент является полиминеральным вяжущим веществом, и реакции гидратации, протекающие в одной системе, могут оказывать взаимное влияние друг на друга, поэтому и продукты гидратации могут существенно отличаться от состава таковых при гидратации индивидуальных фаз. В этом случае гидратация и твердение цемента представляют собой комплекс сложных химических и физико-химических взаимодействий безводных частиц с водой, в результате которых формируются гидратные фазы различной основности и кристаллохимического строения.

Анализ исследований, касающихся механизмов действия химических добавок на процессы гидратации и структурообразования цементных систем, показал, что в них, начиная с момента водозатворения, сложным образом проявляются адсорбционные, электростатические, химические и механические взаимодействия, характер которых на различных стадиях в той или иной степени отражается на формировании структуры цементных композиций [15—20].

В присутствии многофункциональных модификаторов процессы гидратации и структурообразования еще более осложняются вследствие влияния компонентов добавок, которые различным образом могут изменять процессы растворения цементных минералов, процессы кристаллизации и структуру гидратных фаз. Известно, например, что практически все пластифицирующие добавки и суперпластификаторы (СП) замедляют гидратацию силикатных фаз цемента и приводят к стабилизации гидроалюминатов AFm-фаз [15—17, 21—23]. Однако нельзя однозначно говорить о некоем общем замедляющем или стабилизирующем влиянии добавок. СП, имеющие различное конформационное строение молекул, различную молекулярную массу и активные группы, оказывают различное влияние на процессы гидратации и твердения гетерогенных цементных систем. Оценивая влияние тех или иных добавок на структуру и свойства цементных материалов, возможно говорить лишь о некоем результирующем характере и механизмах их действия. Основным критерием оценки эффективности добавок является их тестирование на различных видах вяжущего на стадиях раннего структурообразования и последующего твердения.

На раннем этапе гидратации, когда система находится в пластичном состоянии, образуются коагуляционные контакты, вокруг цементных частиц и наполнителя формируются адсорбционно-сольватные слои, толщина

которых зависит от дисперсности и зарядового состояния частиц. В этот же период начинают формироваться кристаллизационные структуры AFm- и AFt-фаз. Наиболее интенсивно они образуются в течении 2...24 ч и способствуют созданию первичного кристаллизационного каркаса. В последующем система приобретает структурную прочность, между частицами создаются псевдокристаллизационные и кристаллизационные контакты за счет образования и роста кристаллов в диффузном потоке. На более позднем этапе контакты между частицами образуются за счет формирования на поверхности цементных частиц и в пустотах пластинчатых и стержневидных кристаллов AFm- и AFt-фаз, гелеобразного продукта C—S—H фаз в форме игл, пластинок и волокон, которые постепенно распространяются на заполненное водой пространство. На более позднем этапе образуется продукт C—S—H в форме тонкой фольги, армированный кристаллами AFm- и AFt-фаз и извести (СН), образующейся при гидратации цемента в форме массивных кристаллов неопределенной формы [15].

Примеси сильно искажают структуру гидросиликатов и гидроалюминатов кальция и СН. Нарушается порядок формирования кремнекислородных мотивов гидросиликатов кальция (ГСК), в гидроалюминатах происходит поляризация межслоевой воды под влиянием катионов и анионов добавок. В ходе последующей гидратации и твердения цементных систем в зависимости от внешних условий в формирующейся структуре могут происходить процессы перекристаллизации метастабильных гидроалюминатных фаз с высвобождением молекул воды и возможностью протекания процессов вторичной гидратации, что, в свою очередь, может способствовать разуплотнению структуры из-за значительных различий гидратов, например, по значениям плотностей гидроалюминатных структур.

Применение активных минеральных добавок и техногенных шламов в производстве строительных растворов и бетонов способствует не только улучшению технологических свойств смесей и повышению физико-механических характеристик, но и оказывает значительное влияние на процессы схватывания и формирование начальной прочности цементных материалов.

Исследования влияния модифицирующих добавок на процесс начального структурообразования цементных композиций представляют значительный научный и практический интерес, т. к. позволяют проанализировать характер влияния добавок на формирование коагуляционной и начальной кристаллизационной структуры, во многом определяющей последующие процессы твердения и свойства цементных материалов.

При использовании активирующих добавок, механизм действия которых на ранних стадиях обусловлен, главным образом, интенсивным образованием гидратов AFm- и AFt-фаз, анализ кинетики начального структурообразования позволяет не только назначать оптимальные дозировки активаторов, но и в определенном смысле управлять процессами схватывания и формирования ранней структурной прочности цементных материалов.

В начальный период гидратации цементных систем одновременно с растворением исходного вяжущего параллельно протекают процессы поверхностной и растворной гидратации, обменные химические реакции, реакции присоединения, а также образование зародышей кристаллизации. Поверхностная

гидратация и осаждение субмикрорекристаллов, выкристаллизовывающихся из растворов на частицах вяжущего и инертных материалах, приводит к образованию пористых гидратных пленок на поверхности микрочастиц и частично-экранированию гидратирующихся зерен. Образующаяся в системе гидратная среда имеет очень высокую дисперсность, что позволяет отнести ее к коллоидным системам. Прочность и проницаемость пленок определяется структурой и свойствами гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, а также двойных солей-гидратов, выкристаллизовывающихся из растворов в присутствии химических добавок.

Рассматривая процессы гидратации и твердения вяжущих веществ с модифицирующими добавками, следует отметить, что существенная роль в формировании структуры и прочности цементных композиций принадлежит обменным химическим реакциям и реакциям присоединения, протекающих с образованием основных солей и сложных по составу солей-гидратов. Продукты химических реакций, являясь структурными элементами, могут также осаждаться на гидратирующихся зернах вяжущего, создавая (усиливая) экранирующий эффект. Аллюминальные и алюмоферритовые фазы являются наиболее активными в этом отношении составляющими портландцементного клинкера.

Процессы гидратации и кристаллизации, проходящие в цементных системах, осложняются тем, что формирование гидросиликатных фаз (основных носителей прочности) происходит в присутствии гидроалюминатных и наоборот. При введении в систему химических добавок гидратация еще более осложняется, поскольку инородные молекулы и ионы и, особенно, молекулы органических веществ искажают структуру гидросиликатов и гидроалюминатов кальция и препятствуют нормальному формированию структуры. При гидратации алюминатных фаз не только органические добавки, но также низкомолекулярные соединения (электролиты и др.) стабилизируют гидраты АFm-фаз, задерживая (в зависимости от вида и концентрации добавки) их перекристаллизацию в кубические структуры. Введение в систему минеральных тонкодисперсных наполнителей также не может не отразиться на кинетике гидратации и росте прочности системы в целом. Чем более неоднородна поверхность микронаполнителя, тем более нестабильной может оказаться твердеющая система, особенно в начальный период времени. Химический состав микронаполнителя является одним из основных факторов, влияющих не только на состав гидратных фаз, но и на кинетику растворения исходных вяжущих и последующего осаждения гидратов на его поверхности. Химическая природа и дисперсность наполнителя в этом случае позволяет направленно воздействовать на процессы структурообразования и твердения цементных систем, особое внимание при этом должно уделяться химико-минералогическому составу цемента, химическому строению и дозировкам добавок.

В данной работе задачей исследования являлась оценка влияния комплексной органоминеральной добавки (КН), состоящей из смеси молотого известняка и гранита и СП Melflux 5581 на кинетику изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:2). Дозировка минерального наполнителя составляла 10 и 20 % от массы цемента, Melflux 5581 вводился в количестве 0,5 %.

Результаты исследований, представленные на рис. 1, показывают, что комплексный наполнитель приводит к активации начального структурообразования, и с увеличением дозировки с 10 до 20 % пластическая прочность (P_T) также возрастает. Добавка СП Melflux 5581 к цементно-минеральной смеси несколько замедляет формирование начальной структуры, а в период после 4...6 ч происходит резкое увеличение значения P_T .

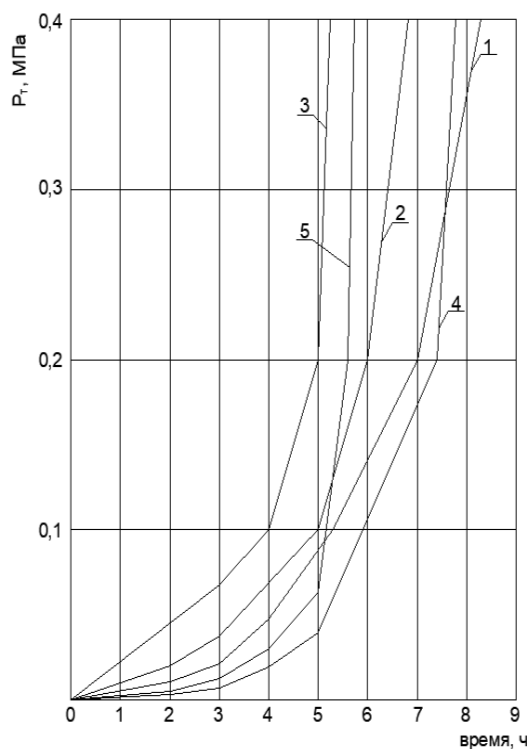


Рис. 1. Кинетика изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора Ц:П = 1:2; В/Ц = 0,45; ЦЕМ I 42,5Н: 1 — без добавки; 2 — с добавкой комплексного минерального наполнителя (КН) 10 %; 3 — с добавкой КН 20 %; 4 — с добавкой КН 10 % + СП Melflux 5581; 5 — с добавкой КН 20 % + СП Melflux 5581

Подобная картина изменения пластической прочности характерна и для других органоминеральных добавок. Однако, в некоторых случаях с увеличением дозировок СП до 0,7...0,8 % от массы цемента в период от 6 до 7 ч происходит значительное замедление P_T по сравнению с дозировкой СП в количестве 0,3...0,4 %.

Использование бинарных микронаполнителей, как правило, равнозначно влияет на кинетику начального структурообразования в сравнении с индивидуальными микронаполнителями. Очевидно, что бинарные микронаполнители оказывают большее положительное влияние на раннюю прочность и последующее твердение. Это подтверждено в работах [24, 25].

Из практики применения в технологии бетонов комплексных добавок известно, что часто в их состав входят ускоряющие или противоморозные добавки на основе неорганических солей (сульфаты, нитраты, нитриты, ацетаты и формиаты натрия и кальция).

Известно [22], что катионы и анионы добавок вносят определенный вклад в тот или иной эффект действия (например, ускоряющий) на цементные системы, во многом зависящий от электронного строения ионов. При гидратации силикатных и алюминатных минералов цемента электронное строение ионов влияет на координационное число и степень сольватации, что, в свою очередь, влияет на скорость растворения исходных минералов и кинетику гидратообразования вследствие, например, поляризационного влияния ионов на состояние молекул воды в структуре гидратов. Из практики известно, что ион Ca^{2+} в цементных системах более эффективен, чем любой другой ион. Ион Ca^{2+} способен образовывать с кислородом прочные октаэдры, в которых связи Ca—O прочнее связи Si—O . Участие $s-d$ орбиталей в образовании химических связей очевидно является причиной того, что координационное число и валентность кальция в структурах твердых растворов способны изменяться [26].

Тейлор отмечает, что способ конденсации силикатных тетраэдров диктуется координационными требованиями катионов металлов и коренным образом изменяется, когда ион Ca^{2+} замещается каким-либо другим [15]. Другие катионы в меньшей степени способны проникать в структуру гидросиликатов кальция и изменять порядок конденсации. Кроме того, известно, например, что ионы Ca^{2+} (и некоторые другие) находятся в растворе в виде аквакомплексов $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. В присутствии подобных сольватных комплексов происходит растворение и перестройка структуры безводных силикатов кальция. В щелочной среде кремниевая кислота будет образовывать сложные радикалы поликремниевых кислот, размеры и форма которых будут зависеть не только от значений pH, но и от электронного строения и свойств катионов, присутствующих в растворе, т. к. они в значительной степени определяют кристаллические свойства образующихся гидратных фаз. Электронное строение и размеры катионов и анионов добавок оказывают различное влияние не только на структуру гидросиликатов кальция, но и на структуру гидроалюминатов кальция, вызывая поляризацию межслоевой воды и стабилизацию гидратов AFm-фаз. В конечном итоге, исследуя характер влияния тех или иных добавок на формирование ранней структуры и прочности цементных систем, мы имеем дело с результирующим фактором воздействия комплексных добавок на гидратацию и твердение цементных систем, но не оценивать механизмы действия и характер влияния катионов и анионов добавок нецелесообразно.

Исследование кинетики изменения пластической прочности цементно-песчаных растворов с добавками ускорителей твердения с различными катионами как без СП, так и в присутствии СП, показали, что уже на стадии формирования ранней структуры цементных систем влияние катионов добавок проявляется различным образом (рис. 2, 3).

При использовании ускорителей твердения в качестве противоморозных компонентов следует учитывать тот факт, что при повышенных дозировках добавок могут замедляться процессы начального структурообразования цементных систем (рис. 4, 5), что особенно важно при твердении в условиях отрицательных температур. Это может привести к снижению темпов набора критической прочности.

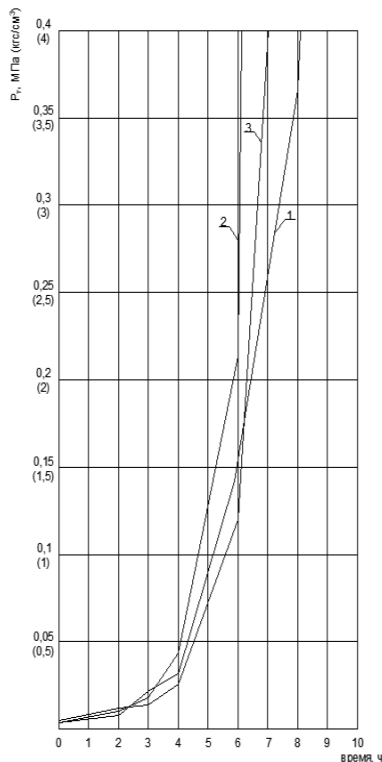


Рис. 2. Кинетика изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора, Ц:П = 1:2; В/Ц = 0,5; ЦЕМ I 32,5Н: 1 — без добавки; 2 — с добавкой Na₂SO₄ (2 %); 3 — с добавкой K₂SO₄ (2 %)

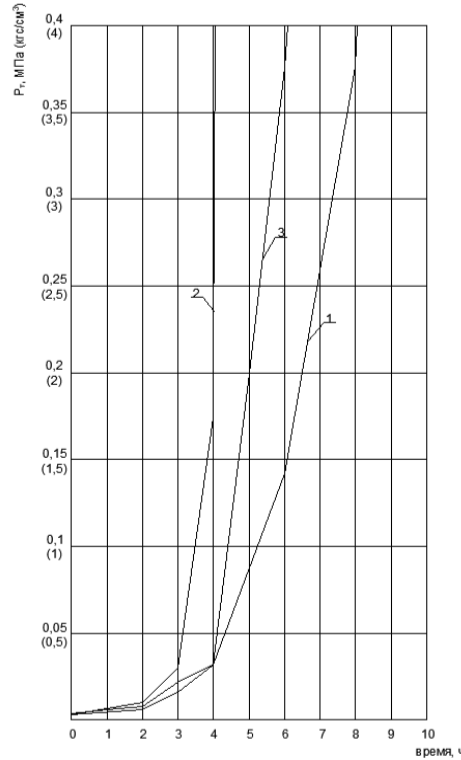


Рис. 3. Кинетика изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора. Ц:П = 1:2; В/Ц = 0,45; ЦЕМ I 32,5Н: 1 — без добавки; 2 — с добавкой CaCl₂ (2 %); 3 — с добавкой NaNO₂ (2 %)

При проектировании составов бетонов с модифицирующими добавками весьма важными представляются исследования их влияния не только на формирование начальной структуры цементных систем, но и на кинетику набора прочности бетона, особенно в ранние сроки.

Ускорение темпов набора прочности бетона позволяет сокращать технологический процесс строительства зданий из монолитного бетона и снижать трудоемкость работ. В зимний период ускоренное твердение бетона будет способствовать сокращению не только темпов строительства, но и снижению энергозатрат на прогрев монолитных железобетонных конструкций. Повышение темпов набора прочности бетона может быть достигнуто за счет применения добавок ускорителей твердения, а также за счет использования комплексных органоминеральных добавок (СП + микронаполнители), которые позволяют повысить плотность и прочность бетона и создать условия, при которых снижение пустотности и сближение частиц цемента, микронаполнителей различных фракций и заполнителя до минимальных расстояний способствует образованию прочных мегазерновых контактов, влияющих на раннее структурообразование и ускорения роста прочности.

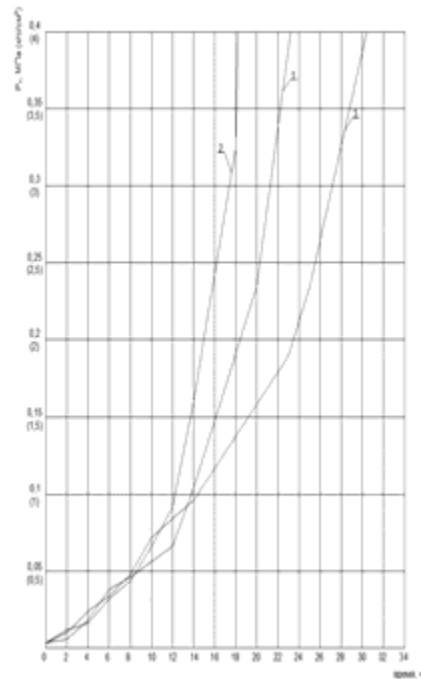


Рис. 4. Кинетика изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора, Ц:П = 1:2; В/Ц = 0,5; ЦЕМІ32,5Н: 1 — с до бавкой СП (С-3) 0,7%; 2 — с до бавкой СП (С-3) 0,7 % + NaNO_2 2%; 3 — с до бавкой СП (С-3) 0,7 % + NaNO_2 7 %

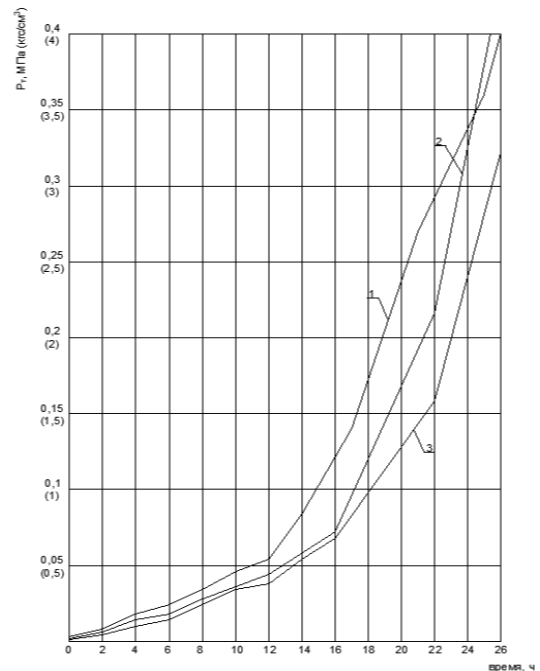


Рис. 5. Кинетика изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора, Ц:П = 1:2; В/Ц = 0,53; ЦЕМІ32,5Н: 1 — с до бавкой СП (С-3) 0,7 %; 2 — с до бавкой СП (С-3) 0,7% + $\text{Ca(NO}_3)_2$ 2 %; 3 — с до бавкой СП (С-3) 0,7% + $\text{Ca(NO}_3)_2$ 7 %

С целью исследования влияния комплексных органоминеральных добавок на кинетику твердения цементных бетонов выполнена серия экспериментов с добавками Melflux 5581 и Melflux 1641 в количестве 0,9 % от массы цемента. В качестве минеральных микронаполнителей использовались молотый песок, микрокварц и микрокремнезем. Составы щебеночного и песчаного бетонов приведены в таблице.

Анализ результатов исследований (см. табл.) позволяют сделать вывод, что использование комплексных минеральных добавок совместно с СП позволяет получать высокие значения прочности уже через 1...3 сут твердения. Важным представляется тот факт, что высокопрочные бетоны с высокой скоростью набора прочности могут быть получены с использованием молотых и фракционированных песков.

Выполненный анализ возможных механизмов гидратации и твердения цементных систем и проведенные исследования показали, что кинетика начального структурообразования определяется видом катионов и анионов добавок и их дозировкой.

Кинетика твердения цементных бетонов с органоминеральными добавками

№ образца	Состав	Количество на 1 м ³ , г/м ³	Прочность при сжатии, МПа		
			1 сут	7 сут	28 сут
1	ЦЕМ I 42,5 Н	336	39,4	98,0	112,8
	Песок молотый $S_{\text{уд}} = 3050 \text{ см}^2/\text{г}$	144			
	Смесь песков 0,16...0,315 0,315...0,63	379			
	Микрокремнезем	33			
	Пескощебеночная смесь 0,63...2,5	452			
	Щебень гранитный	960			
	Суперпластификатор Melflux 5581, 0,9 % от массы цемента				
Вода	153				
2	ЦЕМ I 52,5 Н	674	71,0	108,8	120
	Микрокварц $S_{\text{уд}} = 25 \text{ 000}$	309			
	Песок 0,00...0,63	1040			
	Микрокремнезем	78,3			
	Суперпластификатор Melflux 1641, 0,9 % от массы цемента				
	Вода	236			

Использование в технологии бетонов нового поколения совместно с СП комплексных органоминеральных добавок, в т. ч. на основе фракционированных и молотых песков позволяет получать высокопрочные бетоны с пределом прочности при сжатии до 120 МПа. Высокая прочность бетонов до 40...70 МПа может быть достигнута уже через 1...3 сут. Применение быстротвердеющих высокопрочных бетонов в строительном производстве позволит сокращать сроки возведения конструкций и трудоемкость бетонных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meng W., Khayat K. H. Effect of graphite nanoplatelets and carbon nanofibers on rheology, hydration, shrinkage, mechanical properties, and microstructure of UHPC // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 105. Pp. 64—71.
2. Wu B., Jin H. Compressive fatigue behavior of compound concrete containing demolished concrete lumps // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 210. Pp. 140—56.
3. Cassagnabère F., Escadeillas G., Mouret M. Study of the reactivity of cement/melakaolin binders at early age for specific use in steam cured precast concrete // Construction and Building Materials. 2009. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2008.02.022.
4. Максимова И. Н., Макридин Н. И., Ерофеев В. Т., Скачков Ю. П. Структура и конструкционная прочность цементных композитов. М. : АСВ, 2017. 400 с.
5. Миронов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. М. : Стройиздат, 1975. 700 с.
6. Макридин Н. И., Максимова И. Н., Овсякова Ю. В. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Ч. 1 // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 74—77.
7. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Основы бетоноведения. СПб : Строй Бетон, 2006. 691 с.

8. *Yalçinkaya Ç., Yazıcı H.* Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures // *Construction and Building Materials*. 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.198.
9. *Yazıcı H., Deniz E., Baradan B.* The effect of autoclave pressure, temperature and duration time on mechanical properties of reactive powder concrete // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 42. Pp. 53—63.
10. Efficiency of metakaolin in steam cured high strength concrete / P. Shen, L. Lu, W. Chen, F. Wang, S. Hu // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 152. Pp. 357—66.
11. *Rojas M. F., Cabrera J.* The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin — lime — water systems // *Cement and Concrete Research*. 2002. DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00642-1.
12. *Hiremath P. N., Yaragal S. C.* Effect of different curing regimes and durations on early strength development of reactive powder concrete // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 154. Pp. 72—87.
13. *Helmi M., Hall M. R., Stevens L. A., Rigby S. P.* Effects of high-pressure/temperature curing on reactive powder concrete microstructure formation // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105. Pp. 554—62.
14. *Arabi N., Jaubertie R., Chelghoum N., Molez L.* Formation of C—S—H in calcium hydroxide-blast furnace slag — Quartz — water system in autoclaving conditions // *Advances in Cement Research*. 2015. Vol. 27. Iss. 3. Pp. 153—162.
15. *Тейлор Х.* Химия цемента. М. : Мир, 1996. 560 с.
16. *Рапинов В. Б., Розенберг Т. И.* Добавки в бетон. М. : Стройиздат, 1989. 187 с.
17. *Рамачадран В. С., Фельдман Р. Ф., Коллепарди М.* Добавки в бетон: справочное пособие. М. : Стройиздат, 1988. 575 с.
18. *Кузнецова Т. В.* Алюминатные и сульфалоюминатные цементы. М. : Стройиздат, 1986. 208 с.
19. *Сычев М. М.* Твердение вяжущих веществ. Л. : Стройиздат, 1974. 80 с.
20. *Kurdowski W.* Cement and concrete chemistry. Springer Dordrecht, 2014. 700 p.
21. *Тараканов О. В.* Цементные материалы с добавками углеводов. Пенза : ПГАСА, 2003. 165 с.
22. *Тараканов О. В.* Бетоны с модифицирующими добавками на основе вторичного сырья. Пенза : ПГУАС, 2004. 564 с.
23. The Influence of Plasticizers 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*. 2016. Vol. 93. Pp. 186—191.
24. *Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Беякова Е. А., Душко О. В.* Перспективы применения комплексных органоминеральных добавок в бетонах нового поколения // *Вестник ВолгГАСУ. Серия : строительство и архитектура*. Вып. 2(91). 2023. С. 86—98.
25. *Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Утюгова Е. С.* Эффективность применения комплексных органоминеральных добавок для бетонов // *Вестник ВолгГАСУ. Серия : Строительство и архитектура*. Вып. 1(78). 2020. С. 174—181.
26. *Вернигорова В. Н.* Физико-химические основы образования модифицированных гидросиликатов кальция в композиционных материалах на основе системы CaO—SiO₂—H₂O. Пенза : ЦНТИ, 2001. 393 с.

© Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Душко О. В., Стефаненко И. В., Санягина Я. А., 2023

Поступила в редакцию
в октябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Формирование ранней структуры и прочности модифицированных цементных материалов / О. В. Тараканов, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, И. В. Стефаненко, Я. А. Санягина // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 71—81.

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 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; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

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

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

Санягина Яна Андреевна — исполнительный директор ООО «3Д-БЕТОН». Российская Федерация, 440056, г. Пенза, ул. Ивановская, 148, пом. № 21-4; sanyagina@mail.ru

Oleg V. Tarakanov^a, Talgat K. Akchurin^b, Oleg V. Dushko^b, Igor' V. Stefanenko^b, Yana A. Sanyagina^c

^a *Penza State University of Architecture and Construction*

^b *Volgograd State Technical University*

^c *LLC „3D Beton“*

FORMATION OF EARLY STRUCTURE AND STRENGTH OF MODIFIED CEMENT MATERIALS

The analysis of possible mechanisms of hydration and hardening of modified cement systems is carried out. Studies of the kinetics of initial structure formation in terms of changes in plastic strength (Rt) have been carried out. Having shown that the value of Rt depends on the types of cations of additives and their dosage. With an increase in the amount of SP additives and electrolytes, there is a slowdown in the initial structure formation. The use of a new generation of concretes in technology together with the joint venture of complex organomineral additives, including those based on fractionated and ground sands, allows to obtain high-strength concretes with a compressive strength of up to 120 MPa. High strength of concrete up to 40...70 MPa can be achieved after 1...3 days. The use of fast-hardening high-strength concretes in construction production will reduce the time of construction of structures and the complexity of concrete work.

Key words: hydration and hardening of cement materials, calcium hydrosilicates and hydroaluminates, high-strength concretes, early structure formation, plastic strength, hardening kinetics, early strength, superplasticizers, hardening accelerators, the effect of cations and anions, mineral micro-fillers, organomineral additives.

For citation:

Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Dushko O. V., Stefanenko I. V., Sanyagina Ya. A. [Formation of early structure and strength of modified cement materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 71—81.

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; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

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

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

Yana A. Sanyagina — Executive Director, LLC „3D-BETON“. Room No. 21-4, 148, Ivanovskaya st., Penza, 440056, Russian Federation; sanyagin@mail.ru

УДК 69.002.05

Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, А. А. Ляшенко, С. А. Чебанова, О. А. Растяпина

Волгоградский государственный технический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА КОРЧЕВАТЕЛЯ

В системе машин средств механизации технологического процесса строительного комплекса важное место занимает корчеватель. Современные навесные корчеватели имеют большие габариты и массу, высокое удельное давление на почву и тяговое сопротивление движению агрегата, что требует дополнительных энергетических затрат, приводит к повышению себестоимости производственного процесса. Анализ параметрических характеристик существующих корчевателей показывает, что обнаруженные недостатки возможно устранить новыми техническими решениями. Сущность таких решений сводится к разработке рычажного механизма управления подрезающей скобы корчевателя одним гидроцилиндром, т. к. из-за отказа одного из гидроцилиндров существующей конструкции прототипа произойдет перекос скобы, ее заклинивание и разрушение. Предлагаемое новое техническое решение, интеллектуальная собственность авторов которого защищена в виде патента на изобретение, позволяет за счет упрощения гидромеханизма поворота стоек подрезающей скобы путем размещения на оси несущей рамы одного гидроцилиндра, управляющего поворотом стоек подрезающей скобы, повысить эксплуатационную надежность и материалоемкость корчевателя, снизить производственные и эксплуатационные затраты.

К л ю ч е в ы е с л о в а: корчеватель, несущая рама, дополнительная рама, ротор, подрезающая скоба, опорное колесо, гидроцилиндр.

Номенклатура системы машин строительного комплекса содержит корчеватель непрерывного действия для корчевания пней, расположенных параллельными рядами (лесные культуры, полезащитные лесные полосы и другие подобные насаждения), и позиционного действия для корчевания пней при хаотичном их расположении на вырубках и гарях естественных лесов.

В корчевателе [1], агрегатируемом с мобильными тягово-транспортными средствами, на несущей раме размещены механизм навески, опорные колеса, подрезающая скоба, стойки которой состоят из нижних и верхних рычагов, соединенных с рамой шарнирно. Подрезающий нож неподвижно закреплен на скобе, управляемой двумя выносными гидроцилиндрами, симметрично расположенными относительно продольной оси корчевателя и шарнирно соединенными с несущей рамой, а ротор с билами и гидромотором размещены на дополнительной раме с подъемником. Поворот подрезающей скобы на шарнирах осуществляется посредством двух гидроцилиндров, установленных между рамой и верхними рычагами стоек скобы, упирающимися в упоры.

Исследования показывают, что возникающий в гидроприводе машин гидравлический удар и знакопеременные нагрузки при управлении рабочими органами провоцируют преждевременное разрушение рукавов высокого давления гидроприводов и несанкционированный выброс рабочей жидкости в атмосферу, все это приводит к повышению эксплуатационных затрат, к снижению экологической безопасности окружающей среды из-за загрязнения применяемыми синтетическими или неорганическими рабочими жидкостями. Поэтому целесообразно в системе управления подрезающей скобой корчевателя

изменить количество гидроцилиндров и, соответственно, изменить кинематику механизма управления.

Анализ контактных деформаций элементов рабочего органа, влияющих на силовой орган гидропривода [2—22], выявил недостатки, заключающиеся в том, что ротор с билами и гидромотором, предназначенный для окончательной очистки пней от почвы и выброса их на поверхность или в прицепную тележку, размещен на дополнительной раме, шарнирно соединенной с несущей рамой, управляемой подъемниками в виде двух выносных гидроцилиндров. Такая конструктивная схема имеет большие габариты и массу, приводит к увеличению удельного давления на почву, к дополнительному сопротивлению движению, снижению тягово-динамических показателей корчевателя и производительности, как следствие, к повышению энергетических затрат и себестоимости изготовления, а консольное расположение ротора и короткое плечо от шарнира гидроцилиндра до оси качания дополнительной рамы, при ее подъеме, требует высокой энергоемкости гидроцилиндра, увеличенного его типоразмера и дополнительного расхода рабочей жидкости гидропривода. В этой связи целесообразно оптимизировать параметрические характеристики корчевателя как составной части системы машин, предназначенных для подготовительного фронта работ строительного комплекса возведения зданий, сооружений, дорожной сети, в геологоразведке, для обустройства проsek в лесных массивах и переработки пней.

На основе анализа выявленных недостатков авторами разработано техническое решение [23], которое устраняет существенный недостаток (рис. 1—4). Предлагается в корчевателе верхние плечи рычагов стоек подрезающей скобы объединить между собой балкой, на которой с зазором h_1 установлена разъемная головка штока гидроцилиндра, расположенного на оси несущей рамы, а концы балки неподвижно закреплены в головках верхних рычагов стоек подрезающей скобы, причем в местах установки головки штока гидроцилиндра и головок верхних рычагов стоек подрезающей скобы, выполнены проточки с буртиками h_2 и h_3 , соответственно, предназначенные для ограничения осевого смещения головок. Головки штока гидроцилиндра и рычагов выполнены в виде фланцев и бугелей, охватывающих цилиндрические поверхности проточек и неподвижно закрепленных между собой резьбовыми соединениями. От проворачивания балки в головках верхних рычагов стоек подрезающей скобы бугели и концы балки между собой дополнительно соединены штифтами. Корпус гидроцилиндра управления через балку поворотом стоек подрезающей скобы шарнирно соединен с кронштейном, неподвижно закрепленным на оси несущей рамы, причем ось шарнира зафиксирована с двух сторон упорными шайбами и стопорными кольцами. Для ограничения перемещения балки за пределы заданного положения подрезающей скобы на несущей раме неподвижно с двух сторон от гидроцилиндра управления поворотом стоек подрезающей скобы установлены упоры. Дополнительная рама выполнена в виде двуплечего П-образного рычага, обеспечивающего свободное пространство для перемещения балки и гидромеханизма управления поворотом стоек подрезающей скобы в вертикальной плоскости корчевателя. Короткое плечо П-образного рычага дополнительной рамы выполнено в виде равнобедренного треугольника, вершина которого шарнирно соединена с гидроцилиндром управления дополнительной рамой,

а основание треугольника является осью качания дополнительной рамы в шарнире, расположенном на опоре несущей рамы.

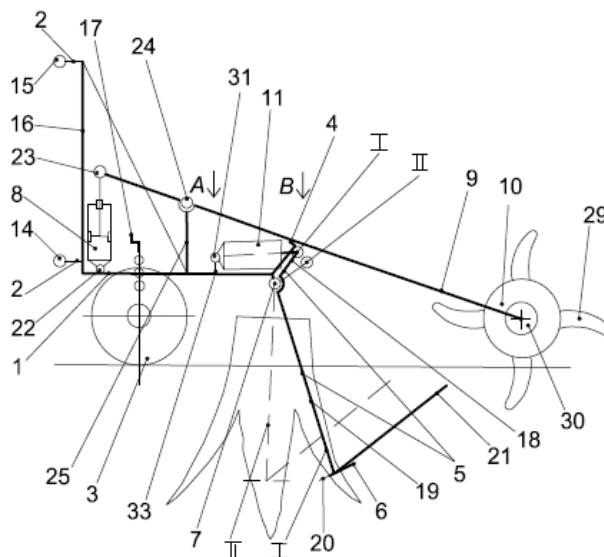


Рис. 1. Корчеватель с блокировкой подъемных рычагов, вид сбоку: 1 — рама несущая; 2 — гидронавеска; 3 — двигатель; 4 — упор; 5 — стойки управления подрезающей скобой; 6 — скоба подрезающая; 7, 14, 15, 22–24, 31 — шарнир; 8, 11 — гидроцилиндр; 9 — рама дополнительная; 10 — ротор; 16 — стойка навески; 17 — винт регулировочный; 18 — рычаг верхний; 19 — стойка подрезающей скобы; 20 — нож подрезающий; 21 — подъемник; 25 — опора рамы дополнительной; 29 — билы; 30 — гидромотор

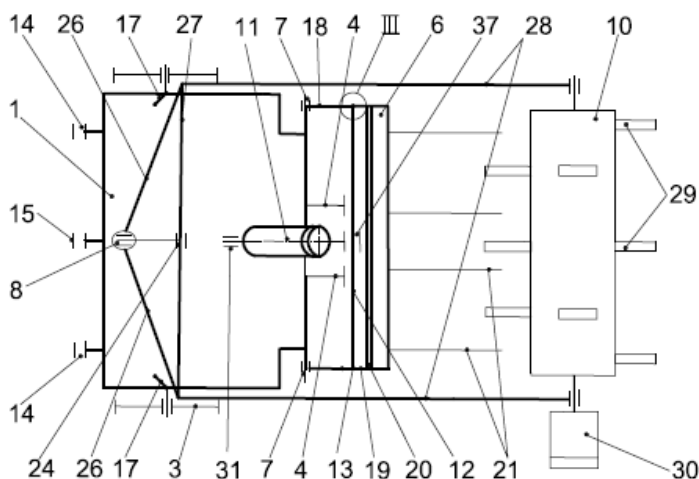


Рис. 2. Корчеватель с блокировкой подъемных рычагов, вид сверху: 1 — рама несущая; 3 — двигатель; 4 — упор; 6 — скоба подрезающая; 7, 14, 15, 24, 31 — шарнир; 8, 11 — гидроцилиндр; 10 — ротор; 12 — балка; 13 — узел соединительный; 17 — винт регулировочный; 18 — рычаг верхний; 19 — стойка подрезающей скобы; 20 — нож подрезающий; 21 — подъемник; 26 — балка передняя рамы дополнительной; 27 — балка поперечная рамы дополнительной; 28 — балка продольная рамы дополнительной; 29 — билы; 30 — гидромотор

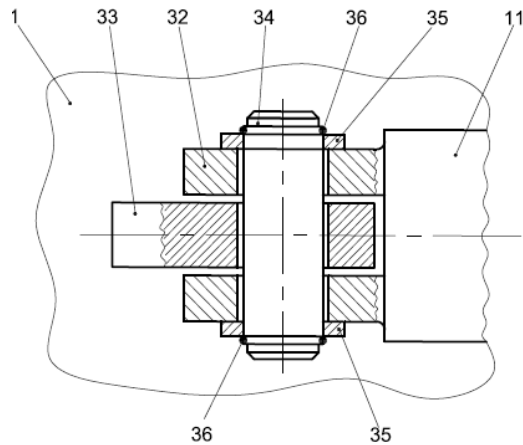


Рис. 3. Шарнирное соединение гидроцилиндра: 1 — рама несущая; 11 — гидроцилиндр; 32 — вилка корпуса гидроцилиндра; 33 — кронштейн; 34 — ось; 35 — шайба; 36 — кольцо стопорное

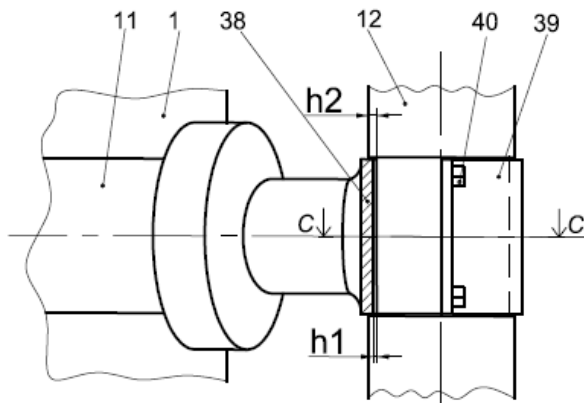


Рис. 4. Установка бугеля гидроцилиндра, продольное сечение: 1 — рама несущая; 11 — гидроцилиндр; 12 — балка; 38 — фланец; 39 — бугель; 40 — соединение болтовое; h_1 — зазор между фланцем головки гидроцилиндра и проточки балки; h_2 — буртик проточки

Конструкция корчевателя содержит несущую раму 1, на которой размещены навеска 2, опорные колеса 3, упоры 4, стойки 5 подрезающей скобы 6, установленные на шарнирах 7 несущей рамы 1, управляемую гидроцилиндром 8 дополнительную раму 9 с ротором 10, управляемую гидроцилиндром 11, балку 12, соединенную неподвижно узлами 13 со стойками 5 подрезающей скобы 6. Составные элементы показаны на рис. 1—7.

При поступательном движении агрегата подрезающий нож 20 подрезающей скобы 6 заглубляется в положение I (см. рис. 1), перемещая опорные колеса 3 винтом 17. Такое положение подрезающей скобы 6 при движении агрегата до очередного пня обеспечивает крошения слоя почвы, что улучшает аэрацию почвы. При встрече ножа 20 с корневой системой оператор без остановки агрегата переводит гидроцилиндром 11 подрезающую скобу 6 из положения I в положение II (см. рис. 1), что обеспечивает снижение сопротивления, передаваемого на подрезающую скобу 6, способствует непрерывному

безостановочному движению. После подрезания корневой системы гидроцилиндром 11 верхние рычаги 18 переводятся до упора 4, возвращая подрезающую скобу 6 из положения II в положение I, одновременно пень транспортируется по поверхности подрезающей скобы 6 на подъемник 21, где почва частично отделяется от пня, а окончательная очистка пня осуществляется билами 29 ротора 10, приводимого в движение гидромотором 30. Очищенный от почвы пень выбрасывается на поверхность почвы или в прицепную тележку, а в случае одновременного дробления пней — в прицепную дробилку. При удалении очередного пня процедура корчевания повторяется.

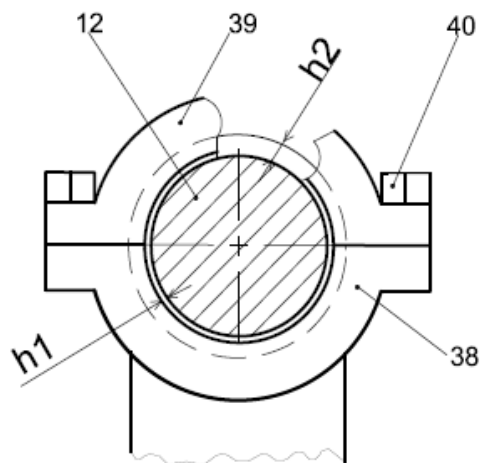


Рис. 5. Установка бугеля гидроцилиндра: 12 — балка; 38 — фланец; 39 — бугель; 40 — соединение болтовое; $h1$ — зазор между фланцем головки гидроцилиндра и проточки балки; $h2$ — буртик проточки

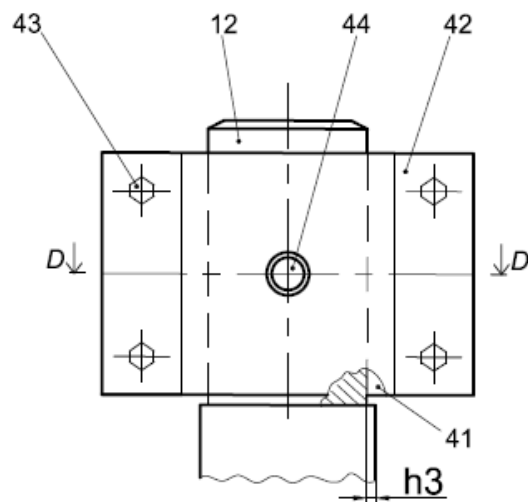


Рис. 6. Установка бугеля гидроцилиндра: 12 — балка; 42 — бугель; 41 — фланец; 43 — соединение болтовое; 44 — штифт; $h3$ — зазор между фланцем головки гидроцилиндра и проточки балки

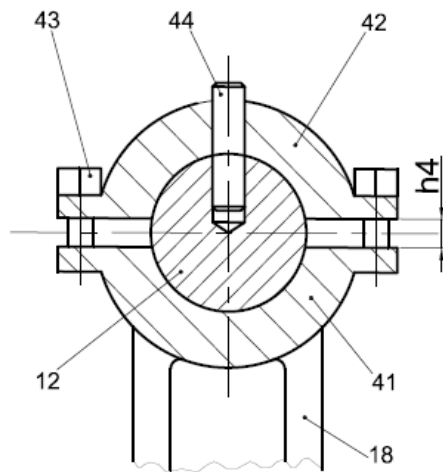


Рис. 7. Установка бугеля гидроцилиндра: 12 — балка; 18 — стойка; 41 — фланец; 42 — бугель; 43 — соединение болтовое; 44 — штифт; $h4$ — зазор между фланцем стойки и бугелем

Таким образом, за счет упрощения гидромеханизма поворота стоек подрезающей скобы путем размещения на оси несущей рамы одного гидроцилиндра, управляющего через коленообразную балку, связывающую между собой головки верхних рычагов стоек подрезающей скобы, повышается эксплуатационная надежность корчевателя, снижаются производственные и эксплуатационные затраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бартенев И. М., Попов И. В.* Корчеватель: патент 2537 558, РФ, МПК А01G 23/06. № 2013135435/13; заявл. 26.07.2013; опубл.: 10.01.2015.
2. Корчеватель: патент 27 648 808, РФ, МПК А01G 23/06 / Н. А. Фоменко, А. А. Сухов, О. В. Бурлаченко, В. Н. Фоменко, Н. Ю. Карапузова; ВолгГТУ. № 2021110533; заявл. 15.04.2021; опубл.: 21.04.2021.
3. *Бурлаченко О. В., Заболотный Р. В.* Устройство для измерения контактных деформаций: патент 2 170 919, РФ, МПК G01N 3/08. № 2000102260/28; заявл. 27.01.2000; опубл. 20.07.2001.
4. *Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фоменко В. Н.* Система защиты гидропривода: патент 2 642 919, РФ, МПК F15B 20/00 (2006/01). № 2017108008; заявл. 10.03.2017; опубл. 25.01.2018.
5. *Пындак В. И., Лапынин Ю. Г., Душко О. В., Дяшкин А. В.* Уплотнительное устройство для цилиндрических пар гидропневматических машин: патент 2 194 898, РФ, МПК F16I15/3. № 2001131652/06; заявл. 22.11.2001; опубл. 20.12. 2002.
6. *Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Чердниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г.* Повышение эксплуатационной надежности корчевателя пней за счет вибрации ножа подрезающего устройства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 137—146.
7. *Кузьмина Т. К., Ефимов В. В.* Выбор оптимальной землеройно-транспортной машины при вертикальной планировке строительной площадки // Бюллетень строительной техники. 2018. № 1(1001). С. 62—64.
8. *Синенко С. А.* Организационно-технологическая подготовка к производству земляных работ // Технологии XXI века: проблемы и перспективы развития : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. 2015. С. 121—124.

9. *Hjelm K., Nilsson U., Johansson U., Nordin P.* Effects of mechanical site preparation and slash removal on long-term productivity of conifer plantations in Sweden // *Canadian Journal of Forest Research*. 2019. Vol. 49. No. 10. Pp. 1311—1319.
10. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials / M. Cleary, N. Arhipova, D. Morrison, I. M. Thomsen, R. N. Sturrock, R. Vasaitis, T. Gaitnieks, J. Stenlid // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 290. Pp. 5—14.
11. Stump removal to control root rot in forest stands. A literature study / R. Vasaitis, J. Stenlid, I. M. Thomsen, P. Barklund, A. Dahlberg // *Silva Fennica*. 2008. Vol. 42. No. 3. Pp. 457—483.
12. *Laitila J., Väättäinen K., Asikainen A.* Comparison of two harvesting methods for complete tree removal on tree stands on drained peatlands // *Suoseura*. 2013. Vol. 64. No. 2-3. Pp. 77—95.
13. *Дручинин Д. Ю., Дорняк О. Р., Драпалюк М. В.* Математическая модель взаимодействия рабочего органа выкопчной машины с почвой и корнями растений // *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 68(4). С. 51—67.
14. *Laitila J., Poikela A., Ovaskainen, H., Väättäinen K.* Novel extracting methods for conifer stumps // *International Journal of Forest Engineering*. 2019. Vol. 30. No. 1. Pp. 56—65.
15. *Артемов А. В., Федянин А. В., Ермоленко С. А., Прядкин В. И.* Тенденции развития перспективных технических средств для корчевания деревьев // *Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования*. 2017. Т. 4. № 1(7). С. 343—348.
16. *Berg S.* Technology and systems for stump harvesting with low ground disturbance // *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Umeå : Department of Forest Biomaterials and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences*, 2014. 83 p.
17. *Berg S., Bergström D., Nordfjell T.* Effect of stump size and timing of stump harvesting on ground disturbance and root breakage diameter // *Silva Fennica*. 2015. Vol. 49. No. 5. DOI:10.14214/sf.1312.
18. *Czupy I., Horvath-Szovati E.* Vertical force requirement for stump lifting // *Journal of Forest Science*. 2013. Vol. 59. No. 7. Pp. 267—271.
19. *Lindroos O., Henningsson M., Athanassiadis D., Nordfjell T.* Forces required to vertically uproot tree stumps // *Silva Fennica*. 2010. Vol. 44. No. 4. Pp. 681—694.
20. *Егунко С. В.* Совершенствование технологии корчевания одиночных пней рычажным корчевателем // *Лесное хозяйство*. 2006. № 5. С. 46—47.
21. *Berg S., Bergström D., Athanassiadis D., Nordfjell T.* Torque required to twist and cut loose Scots pine stumps // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 27. No. 8. Pp. 724—733.
22. *Прядкин В. И., Бартнев И. М., Посметев В. В.* Оценка устойчивости и экологических свойств роботизированного корчевателя, оснащенного шинами широкого сечения // *Лесотехнический журнал*. 2020. Т. 10. № 1(37). С. 244—255.
23. Корчеватель: патент 2276361 Рос. Федерация, МПК A01G 23/06 / Н. А. Фоменко, А. А. Сухов, О. В. Бурлаченко, В. Н. Фоменко, Н. Ю. Карапузова; ВолгГТУ. № 2021114726; заявл. 25.05. 2021; опубл.: 17.03.2022.

© Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Чебанова С. А., Растяпина О. А., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Совершенствование механизма управления режущего аппарата корчевателя / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, А. А. Ляшенко, С. А. Чебанова, О. А. Растяпина // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 5(93). С. 82—89.

Об авторах:

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

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

Ляшенко Александр Александрович — ассистент каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; lyashenko2626@mail.ru

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

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; o_rast@list.ru

**Nikolai A. Fomenko, Oleg V. Burlachenko, Alexander A. Lyashenko,
Svetlana A. Chebanova, Oksana A. Rastyapina**

Volgograd State Technical University

IMPROVEMENT OF THE CONTROL MECHANISM OF THE CUTTING APPARATUS OF THE GRUBBER

In the system of machines of the construction complex, the roofer occupies an important place. Modern mounted roofers have large dimensions and weight, high specific pressure on the soil and traction resistance to the movement of the unit, which requires additional energy costs, leads to an increase in the cost of the production process. Analysis of the parametric characteristics of existing roofers in the system of machines of the means of mechanization of the technological process of the construction complex shows that the detected shortcomings can be eliminated with new technical solutions. The essence of such a solution boils down to the development of a lever mechanism for controlling the cropping bracket of the grubber with one hydraulic cylinder, since due to the failure of one of the hydraulic cylinders of the existing prototype design, the bracket will be skewed, its jamming and destruction. The proposed new technical solution, the intellectual property of the authors of which is protected in the form of an invention patent, makes it possible, by simplifying the hydro mechanism of turning the pruning bracket racks, by placing one hydraulic cylinder controlling the rotation of the pruning bracket racks on the axis of the supporting frame, to increase the operational reliability and material consumption of the grubber, reduce production and operating costs, which is a new technical solution.

Key words: grubber, load-bearing frame, additional frame, rotor, pruning bracket, support wheel, hydraulic cylinder.

For citation:

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Lyashenko A. A., Chebanova S. A., Rastyapina O. A. [Improvement of the control mechanism of the cutting apparatus of the grubber]. *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. 5, pp. 82—89.

About authors:

Nikolai A. Fomenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

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

Alexander A. Lyashenko — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; lyashenko2626@mail.ru

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

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; o_rast@list.ru

УДК 622.24

Т. В. Мельникова

**Волгоградский государственный технический университет
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Волгограде**

АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА

Проведен анализ состояния призабойной зоны пласта как сложной технической системы, изучены ее элементы и функции, выявлена взаимосвязь между ними и многофакторное влияние системы на безопасность, как при строительстве, так и при эксплуатации скважин. Функционирование системы проанализировано с точки зрения приема, передачи и преобразования информации между ее подсистемами. Выявлено, что первостепенным направлением дальнейших исследований станет разработка методов и средств управления системой при проектировании скважин.

Ключевые слова: сложная техническая система, элементы, анализ, функционирование, управление, безопасность, проектирование скважин.

Введение

Поиск методов и средств управления сложной технической системой (СТС) на примере призабойной зоны пласта (ПЗП) является одним из основных направлений по созданию управляемого вскрытия продуктивных пластов, строительства и эксплуатации скважин [1, 2]. Особую значимость данное направление приобретает при строительстве разветвленно-горизонтальных и многозабойных нефтегазодобывающих скважин большой протяженности: нагнетательных, бурящихся с целью поддержания пластового давления (ППД); водозаборных, бурящихся для нужд артезианского и технического водоснабжения, когда в условиях фильтрации формируется зона кольматации (проникновения бурового раствора и его фильтрата) или при специальном гидродинамическом воздействии, когда глинистая корка отсутствует и формируется кольматационный экран. В этой связи проектирование скважин в осложненных горно-геологических условиях, регулирование величины репрессии на пласт становятся невозможными без контроля и управления физическими, физико-химическими, термобарическими и прочими процессами, протекающими в СТС.

Целью работы является изучение СТС на примере ПЗП. Для ее реализации сформулированы и решены следующие основные **задачи**:

- 1) изучены элементы и функции СТС, выявлена взаимосвязь между ними и многофакторное влияние на безопасность как при строительстве, так и при эксплуатации скважин;
- 2) функционирование системы проанализировано с точки зрения приема, передачи и преобразования информации между ее подсистемами;
- 3) определено направление дальнейших исследований в области управления СТС.

Объектом для исследования выступила СТС.

Предметом исследования являются: физические, физико-химические, термобарические, механические и динамические процессы в СТС.

Методы исследования основаны на анализе и обобщении экспериментальных и теоретических данных по рассматриваемой проблеме, результатов собственных исследований, использовании методов математического моделирования и др.

Большой вклад в решение данной проблемы внесли известные ученые и исследователи: В. С. Алексеев, Д. Амикс, А. Н. Ананьев, Ю. Г. Жадан, М. Г. Журба, Л. Х. Ибрагимов, В. В. Крецул, В. И. Крылов, И. Т. Мищенко, М. Х. Мусабилов, Л. И. Орлов, З. А. Хабибуллин, Н. И. Хисамутдинов, Н. И. Юркив и др.

Ввиду индивидуальной специфики СТС ряд теоретических положений требует дополнительного развития и адаптации для решения задач повышения уровня надежности и безопасности как при строительстве, так и при эксплуатации скважин.

Решение рассматриваемой проблемы должно основываться на разработке научно-методологической концепции обеспечения уровня экологической безопасности при разработке и эксплуатации СТС, в детальном изучении:

свойств каждой из сложных технических подсистем — пористой среды, углеводородной и неуглеводородной сред;

механизма их взаимодействия с пористой средой;

взаимодействия между закачиваемыми реагентами с твердой поверхностью пористой среды и флюидами пласта;

и анализ:

физических, физико-химических и термобарических процессов, протекающих в СТС;

причин нарушения ее непрерывной работы;

влияния технологических жидкостей на состояние СТС;

корректировке условий ее безопасной работы и др. [1—3].

1. Анализ ПЗП как СТС: изучение ее элементов и функций

Под СТС будем понимать совокупность множества функционально взаимосвязанных между собой элементов подсистем: пористой среды, углеводородных (нефть и газ) и неуглеводородных (артезианской, технической и пластовой вод) флюидов [2], реализующих в системе определенный закон взаимодействия и обеспечивающих надежность и безопасность при ее функционировании (рис. 1).

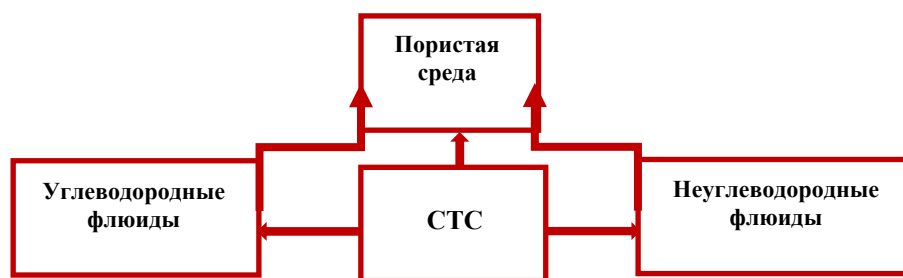


Рис. 1. Элементы СТС

Как видно из рис. 1, сложность технической системы определяется прежде всего структурой, которая характеризуется определенным количеством взаимосвязанных между собой элементов и различными видами взаимодействия

между ними. Каждый элемент подсистемы имеет несколько взаимодействий, что позволяет отнести данные системы к категории *сложных*. При этом сложность *технической системы* возрастает как с ростом числа ее элементов, так и с увеличением числа взаимодействий между ними. Проведем анализ элементов (подсистем) СТС, рассмотрим возникающие взаимодействия.

Пористая среда представляет собой множество твердых частиц, тесно прилегающих друг к другу, сцементированных или несцементированных, пространство между которыми заполнено пластовыми *флюидами*. При этом поровое пространство терригенных пород имеет сложную нерегулярную систему сообщающихся или изолированных межзеренных пустот с размерами пор, составляющих единицы или десятки мкм, а в карбонатных породах, представленных известняками и доломитами, система пор более неоднородна, кроме того, гораздо более развита система вторичных пустот — трещин, вызванных тектоническими напряжениями, а также каналов и каверн, возникших благодаря растворению скелета породы, сопровождающегося протеканием химической реакции [4—7].

Для терригенных пород-коллекторов, сложенных сцементированными песчаниками и алевролитами, а также их смесями с глинами и аргиллитами, фильтрационные свойства изменяются в достаточно широком диапазоне: проницаемость колеблется в пределах от 3...5 до 0,0001...0,001 мкм², а пористость — от 12...14 до 25...26 %, для карбонатных пород, состоящих из известняков и доломитов, представляющих собой перекристаллизованные породы (матрицы), характерна низкая полезная емкость и плохие фильтрационные свойства: пористость 8...15 %, проницаемость 0,0001...0,001 мкм² [8].

Макроскопическое фильтрационное течение пластовых флюидов проявляется как совокупность множества отдельных микродвижений в неупорядоченной подсистеме поровых каналов [9]. С возрастанием числа таких микродвижений начинают проявляться статистические закономерности, характерные для движения в целом, но не для одного или нескольких поровых каналов, что позволяет в качестве исходного допущения теории фильтрации также, как и в гидродинамике, принять, что пористая среда и насыщающие ее флюиды образуют сплошную среду и заполняют любой выделенный элементарный объем непрерывно. При этом основными характеристиками пористой среды являются — давление (P), плотность (ρ), скорость (v) в каждой точке пространства, они определяются осреднением по некоторой области, содержащей эту точку.

Проведенные исследования показали, что к основным характеристикам пористой среды, определяющим ее фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) относят: коэффициент проницаемости ($K_{пр}$), коэффициент пористости (K_n), удельную поверхность порового пространства ($S_{пор}$) и др. показатели.

Основным законом, описывающим движение флюида через пористую среду, является линейный закон фильтрации Дарси:

$$Q = \frac{KF\Delta\rho}{\mu L}, \quad (1)$$

согласно которому величину фильтрации можно контролировать, изменяя:

проницаемость пористой среды;
вязкость фильтрующейся жидкости;
давление.

Пластовая вода в коллекторе находится в пленочном, капиллярном, удерживаемом состояниях, субкапиллярные поры могут быть целиком заполнены водой в кольцевых менисках, образующихся в узких местах контакта зерен, в тупиковых порах, и влияет на нефтеизвлечение не только сложным химическим составом, но и величиной рН. Величину рН формируют поверхность пористой среды, соли, присутствующие в пластовой воде, и температура [10].

Как показал анализ СТС, все ее элементы являются сложными подсистемами, в большей части несмешиваемыми, например, в СТС нефтегазодобывающих скважин это природный газ и пластовая вода, нефть и пластовая вода. Взаимодействие происходит как между элементами подсистемы, так и с пористой средой, а при закачке химических реагентов еще и между закачиваемыми веществами, вследствие чего происходят такие процессы как адсорбция, десорбция, экстракция, образование мицелл, комплексных соединений и др.

Следствием взаимодействия вод с пористой средой и закачиваемыми агентами при строительстве нагнетательных и водозаборных скважин могут стать адсорбция, образование комплексных соединений и другие процессы.

Многообразие действующих факторов при функционировании СТС, сложность структуры вызывают необходимость комплексного исследования вопросов надежности, эффективности и безопасности.

2. Влияние СТС на безопасность при строительстве и эксплуатации скважин

Начальная проницаемость коллектора, характеризуемого структурой капиллярных каналов (рис. 2), может быть нарушена при проводке скважины, в процессе бурения, крепления и освоения, а также при проведении ремонтных работ, когда происходит загрязнение СТС вследствие кольматации пористой среды твердой фазой бурового раствора и его фильтратом, различными веществами и др.

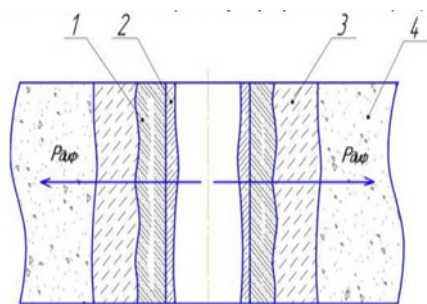


Рис. 2. Схема ПЗС после вскрытия продуктивного пласта бурением: 1 — зона проникновения твердой фазы технологической жидкости; 2 — образование фильтрационной корки; 3 — зона проникновения фильтрата технологической жидкости; 4 — удаленная зона пласта

Как видно из рис. 2, при вскрытии пласта и последующих операциях, связанных с работами по строительству скважин, формируется СТС, отличающаяся пониженными фильтрационными способностями по сравнению с пластом.

В этой связи моделирование изменений состояний СТС и ее влияние на безопасность, начиная с работ по первичному вскрытию пласта и заканчивая эксплуатацией скважин, проводили с учетом структурной схемы, предложенной в работе А. Ф. Бермана [11], которая была дополнена и формализована (рис. 3). Основными этапами исследования изменений свойств и состояний СТС стало выявление опасностей и определение способов их предотвращения.

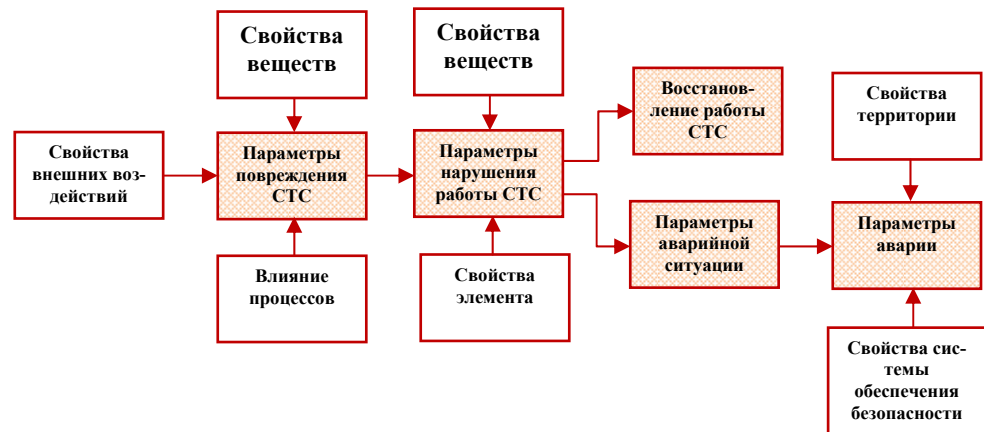


Рис. 3. Причинно-следственный комплекс изменения свойств и состояний СТС

Как видно из рис. 3, в процессе внешнего воздействия, например при первичном вскрытии продуктивного пласта, цементировании скважин, перфорировании продуктивного интервала, проведении ремонтно-изоляционных работ или эксплуатации скважины, происходит загрязнение (кольматация) пласта и СТС, снижение ее ФЕС и, как следствие, нарушение ее работы.

Снижение фильтрационной способности происходит вследствие проникновения различных технологических жидкостей и их фильтратов в пласт (фильные — пресные и пластовые воды, растворы минеральных солей, эмульсии первого рода, минерализованные растворы с добавлением ингибиторов, гидрофобизаторов и других органических и гетероорганических соединений и фобные вещества — эмульсии второго рода, нефть), попадания продуктов коррозии, асфальтосмолопарафинистых отложений (АСПО) с образованием зоны кольматации [10], что сопровождается комплексом физических, физико-химических и термобарических процессов, практически не прекращающиеся на всех стадиях строительства нефтяных и газовых скважин. Как показали результаты исследований [1—3, 12] степень кольматации зависит от состава, свойств, дисперсной фазы и типа технологической жидкости и определяет продуктивность скважин в дальнейшем. Все последующие загрязнения СТС увеличивают эту степень.

Как показала практика, механические примеси в СТС в наибольшей степени заносятся, когда в пласт нагнетается пресная или пластовая вода без достаточной степени очистки, загрязненная продуктами остаточного окисления, загущенная продуктами коррозии, солями и др. [13, 14].

Нарушение непрерывной работы СТС проявляется в снижении производительности скважин, риске возникновения таких осложнений, как осыпи, обвалы, обрушения горных пород, слагающих ствол скважины, гидравличе-

ского разрыва пласта, межколонными проявлениями, частичным/полным поглощением бурового раствора и др., которые зачастую переходят в аварии.

В практике строительства скважин на нефть и газ имеется множество случаев, когда одно возникшее осложнение приводило к другим. Так осыпи и обвалы стенок скважины могут стать причиной прихвата бурильной колонны с потерей циркуляции, а вскрытие зон поглощений промывочной жидкости приводит к нефтегазоводопроявлениям (НГВП) из вышележащих пластов, вследствие снижения давления в стволе скважины и др. осложнениям. На борьбу с ликвидацией таких осложнений при строительстве скважин затрачивается порядка 20...25 % календарного времени, при этом стоимость строительства скважины увеличивается в 1,3...1,5 раза, что делает проблему предупреждения осложнений значимой и актуальной.

Полностью предотвратить явление кольматации пласта, СТС в процессе строительства и эксплуатации скважин невозможно. В этой связи основным направлением работ, связанных с обеспечением уровня надежности и безопасности, стало формирование критерия и показателей эффективности функционирования СТС.

Под термином *критерий эффективности* примем условие, на основе которого будет осуществляться определение показателей эффективности, т. е. результат функционирования — бережное обращение с продуктивным пластом, СТС, а именно максимальное сохранение (восстановление) проницаемости $K_{\text{восст}}$ до ($K_{\text{н}}$) и после ($K_{\text{к}}$) воздействия (D , мкм²) на протяжении всей жизни скважины, от вскрытия пласта до эксплуатации скважины:

$$K_{\text{восст}} = \frac{K_{\text{к}}}{K_{\text{н}}}. \quad (2)$$

В этой связи особое внимание следует уделить *основным факторам*, оказывающим влияние на надежность и безопасность при строительстве и эксплуатации скважин:

- ФЕС СТС;
- конструктивным особенностям проектируемых скважин;
- составу и свойствам технологических жидкостей, закачиваемых в пласт;
- исследованию интенсивности процессов кольматации;
- оценке возможных рисков;
- режимным параметрам и др.

В качестве показателей эффективности функционирования СТС примем:

1) *функциональные показатели эффективности*, характеризующие степень приспособленности СТС к выполнению своих задач, а именно достижению коэффициента продуктивности/приемистости ($K_{\text{пр}}$) и проектного дебита скважин (Q , т/сут, м³/сут):

$$Q = K_{\text{пр}} (P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}}), \quad (3)$$

где, Q — дебит скважины; $K_{\text{пр}}$ — коэффициент продуктивности скважины; $P_{\text{пл}}$ — пластовое давление, МПа; $P_{\text{заб}}$ — забойное давление, МПа;

2) **экономические показатели эффективности**, характеризующие стоимость требуемого эффекта функционирования или интегральный экономический эффект от внедренных мероприятий:

$$\text{ЧДД} = P_T - Z_T = \sum_{t=1}^T (P_t - Z_t) \alpha t = \sum_{t=1}^T \mathcal{E}_t \alpha t, \quad (4)$$

где, P_T — интегральные результаты, представляющие стоимостную оценку результатов осуществления мероприятия за рассматриваемый период; Z_T — интегральные результаты, представляющие стоимостную оценку затрат за рассматриваемый период; \mathcal{E}_t — годового экономического эффект в t -м году; T — рассматриваемый период, годы; αt — коэффициент приведения разновременных затрат и результатов к рассматриваемому году, доли, единицы; P_t, Z_t — стоимостная оценка результатов и затрат в t -м году рассматриваемого периода.

3. Функционирование СТС: прием, передача и преобразование информации между ее подсистемами

Как показали результаты исследований [12], при бурении скважин можно вскрыть пласт с различной проницаемостью, при этом сама СТС представляет собой сложный объект с неоднородным строением, с локальным развитием зон различной проницаемости, что приводит к сложному распределению фильтрации пластовых флюидов.

Рассмотрим все возможные модели фильтрации флюида в СТС [15].

В первую очередь рассмотрим линейную модель фильтрации флюида в пласте, состоящем из нескольких изолированных пропластков различной мощности и проницаемости, представленную на рис. 4.

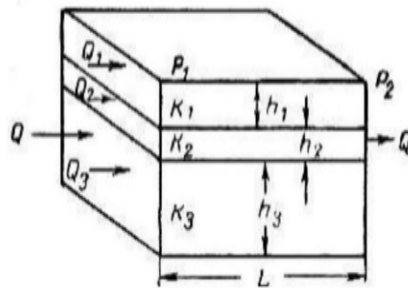


Рис. 4. Модель линейной фильтрации в пласте, состоящем из нескольких изолированных пропластков

Как видно из рис. 4, средняя проницаемость пласта $K_{\text{пр}}$ будет зависеть от мощности (h_i) и проницаемости каждого i -го пропластка (K_i):

$$K_{\text{пр}} = \frac{\sum K_i h_i}{\sum h_i}. \quad (5)$$

Второй рассматриваемой нами моделью станет модель линейной фильтрации жидкости в СТС, имеющей несколько последовательно расположенных зон различной проницаемости (рис. 5).

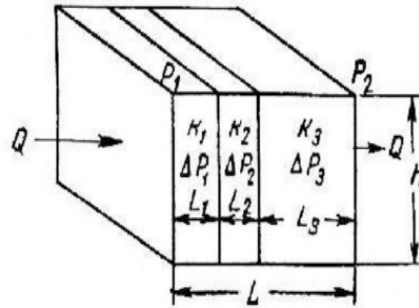


Рис. 5. Модель линейной фильтрации через СТС, имеющую несколько последовательно расположенных зон различной проницаемости

При этом проницаемость пласта будет зависеть как от длины (L_i) i -го пропластка, так и от проницаемости i -го пропластка (K_i):

$$K_{\text{пр}} = \frac{\sum L_{\text{общ}}}{\sum (L_i / K_i)}. \quad (6)$$

Когда слои и участки представляют собой цилиндрически дренируемые зоны, изолированные между собой, то данный вид фильтрации следует отнести к радиальной фильтрации через пласт, имеющий несколько концентрически расположенных зон различной проницаемости (рис. 6).

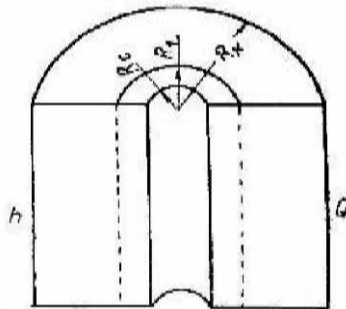


Рис. 6. Модель радиальной фильтрации через пласт, имеющий несколько концентрически расположенных зон различной проницаемости

При этом средняя проницаемость пласта будет зависеть от радиуса контура питания (R_k), радиуса скважины (R_c), радиуса зоны (R_i) и проницаемости зон (K_i):

$$K_{\text{пр}} = \frac{\ln(R_k / R_c)}{\sum \frac{\ln(R_i / R_{i-1})}{K_i}}. \quad (7)$$

Все 3 вида одномерного потока лежат в основе закономерностей течения пластовых флюидов в СТС и за ее пределами в зависимости от принятой системы разработки или от особенностей конструкции скважин.

В этой связи модель функционирования СТС, а именно прием, передачу и преобразование информации между ее подсистемами, будем рассматривать как динамическую, изменяющуюся во времени (рис. 7).

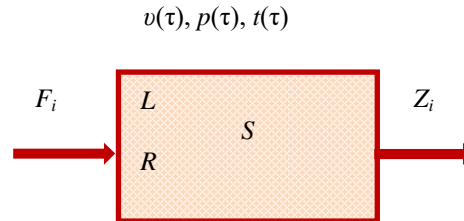


Рис. 7. Детерминированная модель СТС: L — совокупность элементов системы; F_i — факторы, характеризующие состояние объектов разработки месторождений/скважин (входные параметры); Z_i — показатели эффективности (выходные параметры); R — риски

Взаимосвязь между выходными параметрами (Z_i) и независимыми переменными (F_i) в СТС может быть описана уравнением множественной линейной регрессии:

$$Z_i = a_0 + a_1 F_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i F_i + r_i, \quad (8)$$

где a_0 , a_i — оценки коэффициентов уравнения множественной линейной регрессии; r_i — оценка всех возможных рисков (технологических, технических, горно-геологических).

Установление зависимости (8) позволило выявить взаимосвязь между факторами, характеризующими состояние объектов разработки месторождений/отдельных скважин и показателями, влияющими на надежность и безопасность функционирования СТС.

К данным показателям следует отнести:

1) геологические параметры пласта: глубина залегания (H), эффективная толщина (h), число обрабатываемых пропластков (N), коэффициент проницаемости (K), пористость ($K_{пор}$);

2) физические параметры продуктивного пласта: плотность нефти (ρ), вязкость нефти (μ), содержание серы (S), содержание кислых газов (CO_2 , H_2S и др.), содержание парафина (Π), содержание АСПО ($A+C$);

3) технологические параметры: добыча нефти (Q_n), добыча жидкости ($Q_ж$), кратность обработки (N), обводненность ($n_в$), объем закачки технологической жидкости (V), температура пласта (T); давление пласта (P);

4) показатели вероятности возникновения опасных событий: технологические риски, технические риски, горно-геологические риски и др;

5) показатели эффективности: добыча нефти после обработки (Q_n), добыча жидкости после обработки, обводненность, дополнительная добыча нефти (ΔQ_n), технологический эффект (ΔQ).

Заключение

Полученные результаты направлены на теоретическое развитие методов и средств управления СТС, повышения ее надежности и безопасности.

Проведенные исследования показали — для всех объектов разработки месторождений установлено влияние входных данных: геолого-физических и технологических параметров на показатели эффективности. Это позволит

решать задачи по выбору объекта (СТС) с целью сохранения (восстановления) первоначальной проницаемости, снижения риска возникновения осложнений и увеличения дебита/приемистости скважин.

Первостепенным направлением станет разработка методов и средств управления СТС на этапе разработки проектной документации, которые будут направлены на решение следующих задач:

1. Прогнозирование во вскрываемом разрезе скважины продуктивных пластов-коллекторов.

2. Оценка коллекторских свойств и характера насыщения пластов-коллекторов.

3. Проектирование рациональной и надежной конструкции скважин, обеспечивающей предотвращение либо минимизацию рисков возникновения возможных осложнений.

4. Выбор оптимальных режимов бурения, обеспечивающих качественное вскрытие продуктивных пластов-коллекторов с учетом влияния нестационарных динамических процессов, возникающих на забое скважин, позволяющих минимизировать воздействие на СТС при фильтрации технологических жидкостей.

5. Рациональный подбор типа бурового и тампонажного растворов, которые бы в минимальной степени загрязняли СТС, кислотных составов с целью сохранения (восстановления) ее первоначальных фильтрационно-емкостных характеристик пласта.

6. Выбор оптимальных технологий и параметров вторичного вскрытия продуктивных пластов при освоении скважин.

7. Снижение непроизводительного времени при строительстве и эксплуатации скважин и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельникова Т. В., Диденко В. Г. Разработка и апробация технологии обеспечения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации скважин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2009. № 14. С. 102—107.

2. Диденко В. Г., Мельникова Т. В. Рациональный подход к обеспечению экологической безопасности при строительстве скважин // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды 2009 : материалы VII международной науч. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 159—163.

3. Мельникова Т. В., Диденко В. Г., Юркив Н. И. Обеспечение экологической безопасности при разработке и эксплуатации сложных технических систем // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Серия : Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды. 2010. Тольятти : Волжский ун-т им. В. Н. Татищева, 2010. С. 359—367.

4. Barenblatt G. I., Entov V. M., Ryzhik V. M. Theory of Fluids Flows through Natural Rocks. Dordrecht, Boston, London: Academic, 1990. 396 p.

5. Muskat M. The flow of homogenous fluids through porous media. Ann Arbor, Michigan, 1946. 763 p.

6. Glasstone S. Textbook of physical chemistry. D. Van Nostrand Co., New York, 1946.

7. Kaviany M. Principles of heat transfer in porous media. NY: Dover Publications Inc., 1988. 709 p.

8. Investigations of porous media permeability and fluid displacement instability / N. Smirnov, V. Dushin, V. Nikitin, O. Logvinov, E. Skryleva // ELGRA News — Bulletin of the European Low Gravity Research Association. 2015. Vol. 29. P. 149.

9. Dushin V., Nikitin V., Philippov Y., Smirnov N. Two phase flows in porous media under microgravity conditions // Microgravity Science and Technology. 2008. Vol. 20. Iss. 3-4. P. 155—160.

10. Юркив Н. И. Физико-химические основы нефтеизвлечения. М. : ОАО ВНИИОЭНГ, 2005. 366 с.
11. Берман А. Ф. Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 3. С. 17—37.
12. Юркив Н. И., Поликарпов А. Д., Мельникова Т. В. Влияние проницаемости призабойной зоны пластов, расположенных за ней, на распределение фильтрационных потоков // Известия Волгоградского государственного технического университета, Серия : Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2014. Вып. 7. № 1. С. 32—36.
13. Кармалов А. И. Методы борьбы с последствиями кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9. С. 21—25.
14. Гарушев А. Р., Мальцев Г. И. Освоение и исследование нагнетательных скважин на Ахтырско-Бугундырском месторождении. М. : ГОСИНТИ, 1957. 29 с.
15. Aziz K., Settari A. Petroleum Reservoir Simulation. London: Applied Science Publishers Ltd., 1979. 476 p.

© Мельникова Т. В., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Мельникова Т. В. Анализ сложных технических систем на примере призабойной зоны пласта // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 90—100

Об авторе:

Мельникова Татьяна Валерьевна — канд. техн. наук, доц. каф. пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), старший научный сотрудник, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИ-нефть» в г. Волгограде. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; t-melnikova@vstu.ru

Tatiana V. Melnikova

Volgograd State Technical University

Branch of LLC “LUKOIL-Engineering” “PermNIPIneft” in Volgograd

ANALYSIS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF A BOTTOMHOLE FORMATION ZONE

The analysis of the state of the bottom-hole formation zone as a complex technical system was carried out, its elements and functions were studied, the relationship between them and the multifactorial influence of the system on safety, both during construction and operation of wells, were revealed. The functioning of the system is analyzed from the point of view of receiving, transmitting and converting information between its subsystems. It is revealed that the primary direction of further research will be the development of methods and means of controlling the system in the design of wells.

Key words: complex technical system, elements, analysis, operation, management, safety, well design.

For citation:

Melnikova T. V. [Analysis of complex technical systems on the example of a bottomhole formation zone]. *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. 5, pp. 90—100.

About author:

Tatiana V. Melnikova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU), Branch of LLC “LUKOIL-Engineering” “PermNIPIneft” in Volgograd. 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; t-melnikova@vstu.ru

УДК 628.16.087:504.05

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

Волгоградский государственный технический университет

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Проведены исследования влияния импульсного тока на снижение содержания ионов железа (II), железа (III), цинка, хрома (III) и хрома (VI) при электрокоагуляционной очистке промывных сточных вод гальванического цинкования и хромирования. Показано влияние переменного тока с обратным импульсом различной длительности и амплитуды на выход по току дисперсного цинка. Обоснованы изменения технологической схемы очистки цинк-хромсодержащих сточных промывных вод электрокоагуляцией.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрокоагуляция, нестационарный электролиз, очистка сточных вод, импульсный ток.

Введение

Радикальным решением проблемы сохранения природных ресурсов от влияния промышленности является создание и внедрение безотходных технологических процессов. Исключение сброса в водные объекты загрязняющих веществ с промышленными стоками можно осуществить за счет разработки и внедрения оборотных или полностью замкнутых систем водопользования отдельных производств.

Основная масса промышленных стоков не может быть сброшена в городскую систему канализации или в водоем без предварительной очистки на локальных очистных сооружениях [1, 2].

Учитывая современную тенденцию контроля экологического воздействия промышленных стоков на окружающую среду, становится необходимым исследование технологических методов очистки загрязненной воды, позволяющих свести к минимуму вредное воздействие либо замкнуть поток воды в технологическом цикле.

Использование электрического тока для очистки сточных вод

Определенным перспективным резервом в очистке сточных вод является использование электрического тока [3, 4].

Электрообработка при правильном сочетании с другими способами позволяет успешно очищать сточные воды от примесей различного состава и дисперсности [5, 6].

Среди наиболее эффективных методов использования электрического тока для очистки воды можно считать электрокоагуляцию [7, 8]. Метод электрокоагуляции позволяет исключить расход реагентов, использовать воду после очистки далее в обороте. Кроме того, электрокоагуляционные установки занимают незначительные площади.

Одним из направлений в разработке электрокоагуляторов является использование для их питания импульсного тока [9, 10].

Проведены исследования процесса электрокоагуляционной очистки водных растворов Fe (III), Fe (II), Cr (VI), Zn (II) с использованием импульсного тока различной частоты для снижения нагрузки на окружающую среду.

Метод электрокоагуляции в нестационарном режиме позволяет при использовании дополнительных устройств успешно решать проблему извлечения металлов из промывных вод гальванических производств.

В процессах электрокоагуляции с целью перевода ионов Cr (VI) в состояние ионов Cr (III) в качестве генератора ионов-восстановителей используется постоянный ток. Снять приэлектродные диффузные ограничения возможно заменой постоянного тока на импульсный.

Проведены исследования с модельными растворами оксида Cr (VI) концентрации 150 мг/л и оксида Fe (III) с концентрацией 5 мг/л.

Для получения сопоставимых результатов исследовались процессы на постоянном и импульсных токах (рис. 1).

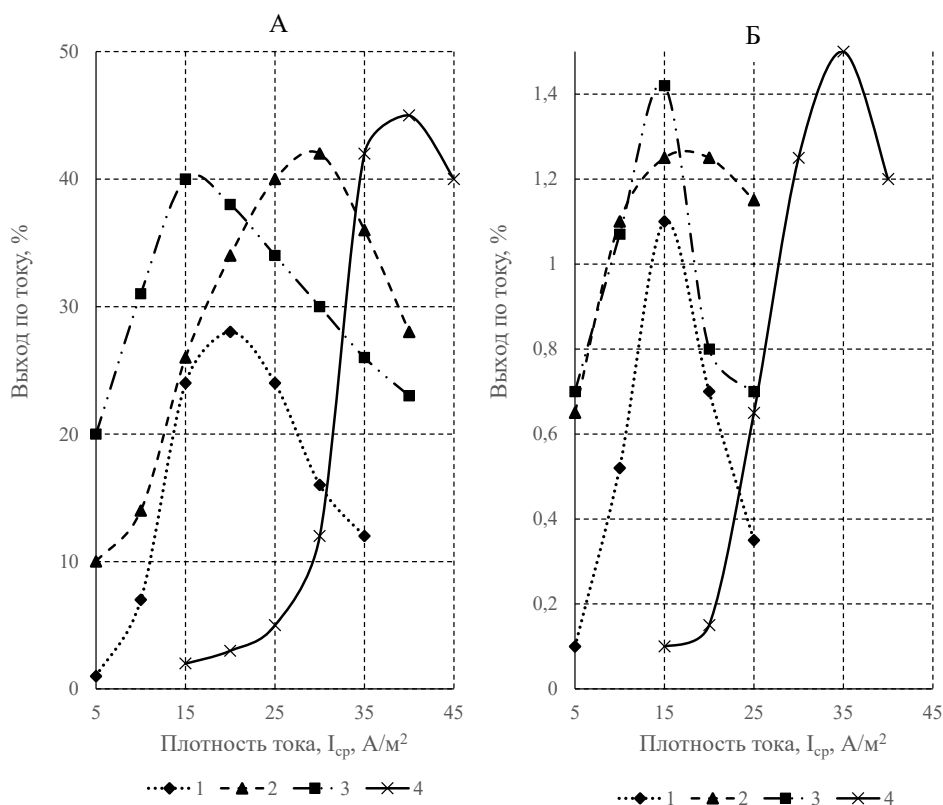


Рис. 1. Зависимость выхода по току ионов Cr (А) и Fe (Б) от плотности тока при электродиализе хромсодержащих сточных вод. Формы тока: 1 — постоянный ток; 2 — импульсный ток частотой 50 Гц; 3 — импульсный ток частотой 1000 Гц; 4 — импульсный ток частотой 510 Гц

Как видно из полученных данных, при работе электродиализатора на переменном токе выход по току как ионов Cr, так и ионов Fe при одинаковых плотностях тока практически в 2 раза больше выхода по току с применением постоянного тока.

Максимальный выход по току достигается с применением импульсного тока с частотой 510 Гц.

Полнота вывода ионов Cr (VI) из раствора определяется как некоторое стехиометрическое соотношение образующихся ионов Fe (II) и Cr (VI) [10]. Образование ионов Fe (II) больше этого стехиометрического значения может привести к окислению в ходе противоположного импульса. Таким образом, большая часть избыточных ионов Fe может окисляться, не участвуя в процессе восстановления хромат-ионов.

Если между разнополярными импульсами возникает временная пауза, то образующиеся ионы могут диффундировать за пределы приэлектродного слоя и более полно реагировать с ионами Cr (VI).

Таким образом использование импульсного тока позволяет с позиций экономических и технических более эффективно проводить процесс электрокоагуляционной очистки хромосодержащих промышленных стоков.

Использование периодического тока позволяет получать осадок цинка из промывных вод. Концентрация ионов Zn составляет около 1,5...4,0 г/л. Исходя из этого изучена возможность получения осадка цинка непосредственно из ванн улавливания.

При электроосаждении дисперсного цинка из электролита, имитирующего состав усредненной промывной ванны улавливания после цинкования в сульфатно-аммиачном электролите, установлено, что выход по току цинка падает с увеличением плотности тока, т. к. увеличивается выход по току водорода. Выход по току дисперсного цинка зависит от параметров самого тока. В результате проведенных исследований выявлено, что применение импульсного тока позволяет менять выход дисперсного цинка.

При всех изученных формах и параметрах периодического тока и при одинаковых плотностях тока выход по току дисперсного цинка несколько выше по сравнению с постоянным током (рис. 2).

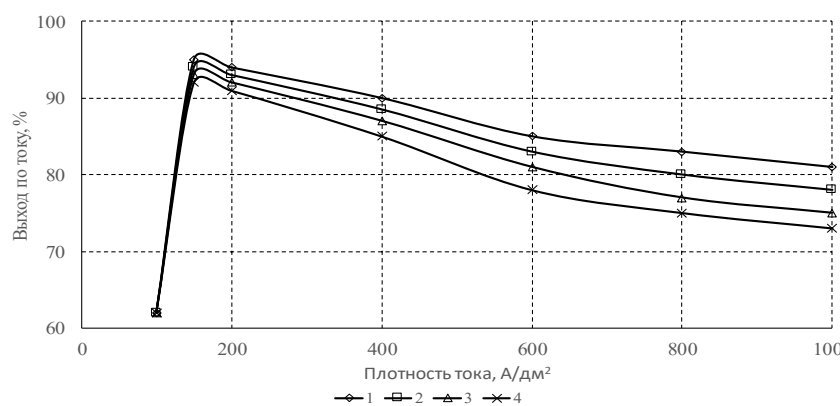


Рис. 2. Зависимость выхода по току дисперсного цинка от плотности тока из раствора состава: $1,5\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, $5,0(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, температура электролита 40°C , формы тока: 1 — импульсный ток $\tau_{\text{пр}} = 10^{-3}$ с; 2 — пульсирующий ток $\tau_{\text{п}} = T/2$; 3 — периодический ток $I^{\text{пр}}/I^{\text{бпр}} = 2$; 4 — постоянный ток

При замене постоянного тока (кривая 4) на импульсный с длительностью импульса меньше, чем однополупериодный (кривая 2), увеличивается выход по току дисперсного металла вследствие выравнивания концентрации разряжающихся ионов у поверхности катода во время паузы.

При использовании тока с обратным импульсом происходит частичное растворение электроосажденного металла [11]. При электроосаждении дисперсного цинка периодическим током различных форм (см. рис. 1, кривые 1, 2, 3) выход по току металла при использовании периодического тока с обратным импульсом с $(I^{np}/I^{обp} = 2)$ ниже, чем при остальных формах, что связано с увеличением амплитудной плотности тока прямых импульсов при $i_{cp} = const$.

При плотности тока ниже 1 А/дм^2 и при $I^{np}/I^{обp} = 2$ (см. рис. 1) наблюдается растворение осадка.

Объектом исследования являлись промывные воды участка цинкования и хроматной пассивации гальванического цеха.

Экономическое обоснование инженерных мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнений можно связать с определением предотвращенного ущерба, который наносится окружающей среде попаданием загрязненных сточных вод в водоемы и почву.

Для расчета эффективного электрокоагулятора проведены лабораторные исследования на модельных растворах и на реальных стоках.

Основными исходными параметрами для расчета приняты:

- производительность установки Q ($\text{м}^3/\text{ч}$);
- продолжительность обработки сточных вод t (ч);
- плотность тока на электродах i (А/м^2);
- удельное количество электричества G (А/м^3).

С использованием алгоритма [13, 14] составлена программа для расчета электрокоагулятора по очистке сточных вод. Расчет электрокоагулятора сводится к следующему:

1) полезный объем электролизера, м^3 :

$$V = Qt; \tag{1}$$

2) общая поверхность анодных пластин, м^2 :

$$S = \frac{V}{d_1 + \delta}, \tag{2}$$

где d_1 — расстояние между соседними электродами, δ — толщина одного электрода;

3) общее количество анодов в электролизере:

$$n_A = \frac{S_A}{S_1}, \tag{3}$$

где S_1 — поверхность одного анода, м^2 ;

4) общее количество электродов:

$$n = 2n_A + 1; \tag{4}$$

5) ширина блока электродов, м:

$$d_2 = 2nAd_1 + \delta(2n_A + 1); \tag{5}$$

6) ширина электролизера, м:

$$d = d_2 + 2d_3 = 2nAd_1 + \delta(2nA + 1) + 2d_3, \quad (6)$$

где d_3 — расстояние между крайними электродами и стенками электролизера;
 7) ширина электродов, м:

$$L = \frac{S_1}{2h_1}, \quad (7)$$

где h_1 — высота рабочей части электрода, погруженной в жидкость, м;
 8) высота электролизера, м:

$$H = h_1 + h_2 + h_3, \quad (8)$$

где h_2 — высота части электрода над уровнем жидкости, м; h_3 — расстояние от кромки аппарата до электродов, м;

9) общий объем электролизера, м³:

$$V_{\text{общ}} = dLH; \quad (9)$$

10) масса металла электродной системы электрокоагулятора, которая может быть использована при электролизе, т:

$$m = \gamma k f \delta n, \quad (10)$$

где γ — удельный вес электродной системы; k — коэффициент использования материала электродов; f — площадь одного электрода;

11) продолжительность работы электродной системы, сут:

$$T = \frac{106m}{24nQ}. \quad (11)$$

Результаты расчета и режимы работы производственной установки приведены в таблице.

Расчет и режимы работы электрокоагулятора

Показатель	Значение
Производительность, м ³ /час	2
Расстояние между электродами, мм	2...4
Материал анода	Ст3
Площадь одной электродной пластины, м ²	8...10
Суммарная площадь поверхности электродных пластин, м ² (всей поверхности)	7,97
Количество электродов (из них анодов), шт.	32(16)
Частота, Гц	50
Скважность импульсов	2
Удельный расход электроэнергии, кВт-ч/м ³	4,5
Температура обрабатываемого раствора, С	10...30
Длина электролизера, м	0,55
Ширина электролизера, м	0,45
Высота электролизера, м	1,5
Плотность тока, А/дм ²	100...150

Экологическая значимость предлагаемого метода

Современная унифицированная технология регенерации и очистки промывных вод должна предусматривать максимально быстрое и 100%-е извлечение ценных компонентов, получение в качестве конечного продукта регенерации и очистки промывных вод концентрированных растворов, извлекаемых металлов и технической воды, пригодных для повторного использования в гальванотехнике, включение регенерации в технологический процесс с целью создания безотходных технологий.

Переработка отработанного раствора проводится с целью получения товарных продуктов, которые могут быть использованы на предприятиях. Примером является переработка травильных растворов с целью получения окислов железа как сырья для получения пигментов, ферритов, строительных материалов [15, 16].

С позиции защиты окружающей среды необходимо сделать упор на разработку технологий, обеспечивающих более полный возврат соединений тяжелых металлов в гальванический процесс с замкнутым водооборотом [17—25]. Одновременно снимается сложнейшая проблема утилизации шламов.

Для решения вопроса утилизации шламов после электрокоагуляционной очистки предлагается традиционную технологическую схему нейтрализации сточных вод (рис. 3) изменить на схему (рис. 4), в основу которой положено разделение цинк-хромосодержащих стоков и проведение их очистки электрокоагуляционным методом. При отдельной очистке цинк- и хромосодержащих стоков выходными продуктами является порошок цинка и гидроокись хрома и условно «чистая» вода, используемая в обороте.

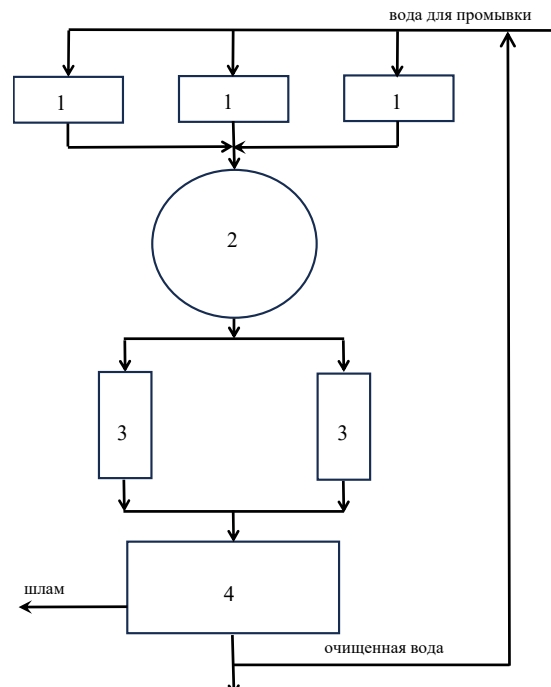


Рис. 3. Схема очистки промышленных сточных вод электрокоагуляцией: 1 — ванны промывки; 2 — накопитель; 3 — электрокоагуляторы; 4 — отстойник

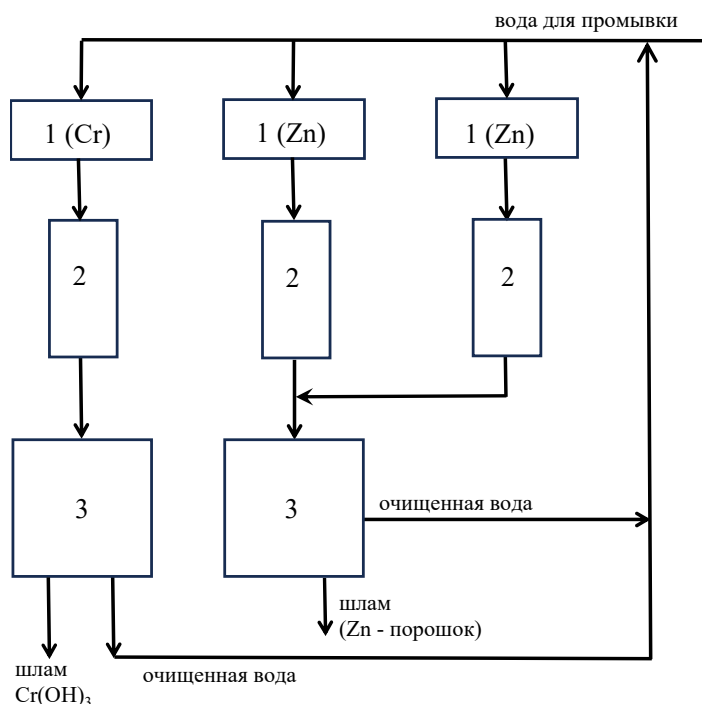


Рис. 4. Предлагаемая схема очистки промышленных сточных вод электрокоагуляцией: 1 — ванны промывки; 2 — электрокоагуляторы; 3 — отстойник

В схему (см. рис. 4) необходимо встроить дополнительный электрокоагулятор с аналогичными технологическими характеристиками и объемом, который соответствует объему промывных ванн в циклах хроматирования и цинкования. Предлагаемая схема позволяет утилизировать шламы, а предлагаемые токовые характеристики интенсифицируют процесс очистки промывных вод.

Выводы

1. Метод электрокоагуляции в нестационарном режиме позволяет при использовании дополнительных устройств успешно решать проблему извлечения ценных металлов, в данном случае цинка, из промывных вод гальванических производств.

2. Выход по току металлического цинка, ионов хрома и ионов железа зависит от форм применяемого тока.

3. Извлечение и регенерация металлов позволяет решать экологическую проблему загрязнения окружающей среды.

4. Использование электрокоагуляции в нестационарном токовом режиме позволяет экономить электроэнергию, значительно уменьшить расход воды на промывку, обеспечить ее повторное использование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волоник Г. И., Коробко М. А. Электрохимическая очистка воды. Хабаровск : ДВГУПС, 2002. 350 с.
2. Яковлев С. В., Карелин Я. А., Ласков Ю. В., Воронов Ю. М. Очистка производственных сточных вод. М. : Стройиздат, 1979. 320 с.

3. *Феофанов В. А., Давыдов Г. И., Чилиева Л. И.* Очистка сточных вод методом гальванокоагуляции. Алма-Ата : Казмеханобор, 1991. 53 с.
4. *Халтурина Т. И., Курилина Т. А.* Гальванокоагуляционное обезвреживание сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов // Известия вузов. Строительство. 2009. № 9. С. 77—83.
5. *Sprynsky M.* Solid — liquid — solid extraction of metals (Cr, Cu, Cd, Ni and Pb) in aqueous systems of zeolite — sewage sludge // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 161. Pp. 1377—1383.
6. *Чантурия В. А., Соложенкин П. М.* Гальванохимические методы очистки техногенных вод: Теория и практика. М. : Академкнига, 2005. 204 с.
7. *Brown P. A., Gill S. A., Allen S. A.* Metal removal from wastewater using peat // Water Research. 2000. Vol. 34, No.16. Pp. 3907—3916.
8. *Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов М. С.* Технология электрохимической очистки воды. Л. : Строиздат, 1987. 320 с.
9. *Винник А. Ф., Бойко А. В., Слюсарская Т. В.* Некоторые вопросы теории и практики импульсного электролиза / Прикладная электрохимия: Теория, технология и защитные свойства гальванических покрытий // Казань : Казанский химико-технологический ин-т., 1991. С. 31—35.
10. *Костин Н. А., Кублановский В. С., Заблудовский В. А.* Импульсный электролиз. Киев : Наукова думка, 1989. 168 с.
11. *Вурдова Н. Г.* Особенности процесса электролиза в условиях импульсного питания ячейки // Градостроительство. Волгоград : ВолГАСА, 1996. С. 81—82.
12. *Невский А. В., Пылаева Г. А., Чесноков В. В., Лазюк О. В.* Экологическая безопасность продуктов переработки отходов гальванических производств // Гальванотехника и обработка поверхности. 1996. Т. 4. № 2. 1996. С. 38—42.
13. *Найденко В. В., Кулакова А. П., Скирдов И. В.* Методы оптимального проектирования систем очистки сточных вод // Водоснабжение и сантехника. Техника. 1984. № 1.
14. *Фомичев В. Т., Паршина Е. А., Вурдова Н. Г.* Некоторые технологические решения по экологическим проблемам гальванического производства // Материалы международной науч.-практ. конф. «Надежность и долговечность строительных материалов». Волгоград : ВолГАСА, 1998. С. 64—67.
15. *Дырова Е. А.* Очистка промышленных стоков электрокоагуляцией в нестационарном режиме // Межвуз. сб. науч. тр. «Очистка природных и сточных вод». Ростов-н/Д : 1997. С. 80—81.
16. *Зырянов М. Н.* О поведении токсичных тяжелых металлов гальванических осадков при их утилизации в промышленности строительных материалов // Гальванотехника и обработка поверхности. 1992. Т. 1. С. 99—101.
17. *Смирнов Д. Н., Генкин В. Е.* Очистка сточных вод в процессе обработки металлов. М. : Металлургия, 1989. 196 с.
18. *Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В.* Очистка хромосодержащих вод электролизом в нестационарном режиме // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 190—195.
19. *Pesko A. M., Chen H. Y.* Theory and applications periodicheskiy electrolysis // Modern Aspects of Electrochemistry. 1989. No. 19. Pp. 251—258.
20. *Sarradzin J.* Le developpement industriel contemporain des membranes échangeuses d'ions // Bull. Union Physics. 1986. Vol. 80. No. 688. Pp. 1427—1447.
21. *Shestakov K. V., Lazarev S. I., Selivanov Y. T., Khokhlov P. A.* Mathematical Description and Method of Calculating the Technological Parameters of an Electrodialysis Apparatus for Chemical Industrial Wastewater Treatment // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Vol. 56. No. 1-2. Pp. 53—58.
22. *Marder L., Sulzbach G. O., Bernardes A. M., Zoppas J. Ferreira* Removal of cadmium and cyanide from aqueous solutions through electrodialysis // Journal of the Brazilian Chemical Society. 2003. Vol. 14. No. 4. Pp. 610—615.
23. *Al-Saydeh S. A., El-Naas M. H., Zaidi S. J.* Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2017. Vol. 56. Pp. 35—44.

24. Khan S. A., Khan S. B., Kamal T., Asiri A. M. Recent development of chitosan nanocomposites for environmental applications // *Recent Patents on Nanotechnology*. 2016. Vol. 10. No. 3. Pp. 181—188.

25. Shrestha R., Ban S., Devkota S. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9. No. 4. Pp. 105688.

© Акчурин Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П., Фомичев В. Т., Губаревич А. П., 2023

Поступила в редакцию
в ноябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Эколого-экономическое обоснование электрокоагуляционной очистки промывных сточных вод / Т. К. Акчурин, А. В. Савченко, Г. П. Губаревич, В. Т. Фомичев, А. П. Губаревич // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 101—110.

Об авторах:

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

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

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

Фомичев Валерий Тарасович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. математических и естественнонаучных дисциплин, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; valerifomiche@yandex.ru

Губаревич Александр Павлович — магистрант каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gap-vlg2001@mail.ru

Talgat K. Akchurin, Aleksei V. Savchenko, Galina P. Gubarevich, Valeriy T. Fomichov, Aleksandr P. Gubarevich

Volgograd State Technical University

ECOLOGICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF ELECTROCOAGULATION TREATMENT OF WASTEWATER

Studies have been conducted of the influence of pulsed current on reducing the content of iron (II), iron (III), zinc, chromium (III) and chromium (VI) ions during electrocoagulation treatment of wastewater from galvanizing and chromium plating. The effect of alternating current with a reverse pulse of various durations and amplitudes on the current output of dispersed zinc is shown. Changes in the technological scheme for purifying zinc-chromium-containing wastewater by electrocoagulation are substantiated.

Key words: electrocoagulation, non-stationary electrolysis, wastewater treatment, pulsed current.

For citation:

Akchurin T. K., Savchenko A. V., Gubarevich G. P., Fomichov V. T., Gubarevich A. P. [Ecological and economic justification of electrocoagulation treatment of wastewater]. *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. 5, pp. 101—110.

About authors:

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

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

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

Valeriy T. Fomichov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, valerifomiche@yandex.ru

Aleksandr P. Gubarevich — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gap-vlg2001@mail.ru

УДК 628.387:330.322.5

**Н. Г. Вурдова^а, Ю. Ю. Юрьев^б, Г. Б. Абуова^в, В. В. Изотов^б, Е. В. Москвичева^б,
С. С. Захаров^б**

^а АО «ГМС Нефтемаш»

^б Волгоградский государственный технический университет

^в Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ВОДОБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Внедрение мало- и бессточных (замкнутых) систем водного хозяйства на предприятиях является наиболее рациональным способом защиты окружающей среды от загрязнения. Очистка сточных вод промышленного предприятия является дорогостоящим мероприятием. Степень очистки оборотной воды может быть намного ниже, чем это необходимо для сброса в водоем, поэтому организация водооборотных систем может обеспечить как экономический, так и экологический эффект. Однако очевидные преимущества такого подхода требуют серьезной технико-экономической проработки. Согласно ГОСТ Р 58785—2019 ведется расчет стоимости затрат жизненного цикла объекта строительства. На предпроектной стадии возможно проведение расчетов на основе усредненных обезличенных данных (benchmarks). Зарубежные методы оценки широко используют крупные отраслевые компании. Приведены результаты технико-экономических расчетов для обоснования инвестиций в реконструкцию водоочистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия различными методами.

Ключевые слова: технико-экономическое обоснование, стоимость жизненного цикла объекта строительства, замкнутые системы водного хозяйства, канализационные очистные сооружения.

Введение

Опираясь на основные положения наиболее известной международной методики оценки инвестиционных проектов [1], целостный и доступный для широкого понимания механизм, изложенный в «Основных положениях...»¹, подразумевает, что «...для принятия решения о долгосрочном вложении капитала необходимо располагать информацией, подтверждающей два основных положения:

- 1) вложенные средства должны быть полностью возмещены;
- 2) полученная прибыль должна компенсировать временный отказ от использования средств, а также риск, возникающий в силу неопределенности конечного результата».

Следовательно, для поддержки принятия решения о вложениях необходимо максимально полно собрать информацию для разработки развернутого бизнес-плана: провести технико-экономическое обоснование и маркетинговые исследования, осуществить выбор поставщиков, а также оценить возможные последствия от реализации или «незапуска» проекта.

Повышенное внимание со стороны государства и общественности, которое уделяется экологической ситуации в стране, заставляет промышленные предприятия активно заниматься внедрением малоотходных систем водоподготовки

¹ Коммерческая оценка инвестиционных проектов. Основные положения методики. М. : Альт-Инвест, 2015. 100 с.

и водоотведения, основанных на современных технологиях. При всей очевидности потребности предприятия, однако, не спешат вкладываться в дорогостоящие проекты по очистке сточных вод. Причин здесь несколько. Во-первых, деятельность любого предприятия нацелена на максимизацию прибыли, при этом часто игнорируются социальные и экологические аспекты. Во-вторых, при наличии существующих водоочистных сооружений частично решаются проблемы с природоохранными органами. В-третьих, традиционный подход к экологическому сопровождению при проектировании, строительстве или реконструкции объектов строительства сводится к проведению инженерно-экологических изысканий, разработке «Перечня мероприятий по охране окружающей среды», расчета платы за негативное воздействие и не учитывает влияние реализации экологических рисков.

Эти причины являются основными сдерживающими факторами в принятии решения об инвестировании в новое строительство или реконструкцию водоочистных сооружений промышленного предприятия. Как показал опыт отдельных компаний, игнорирование возможных последствий от реализованных экологических рисков — процесс существенно более затратный². По нашему мнению, экологические риски должны быть обязательно учтены в инвестпроектах [2—5].

Актуальность работы

В ходе работы проведено исследование различных методик [6, 7] и выполнены технико-экономические расчеты для обоснования инвестиций в реконструкцию водоочистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия (НПЗ). Сточные воды НПЗ подвергаются многоступенчатой очистке, т. к. имеют сложный физико-химический состав, включающий десятки опасных для окружающей среды и жизнедеятельности человека ингредиентов. Очищенные до требуемых нормативов сточные воды, как правило, сбрасываются в близлежащие водоемы [8]. Современные предприятия, опирающиеся на политику устойчивого развития, организуют малосточные и замкнутые водооборотные системы, применяя так называемые технологии ZLD³, что несомненно является перспективным направлением модернизации производства [9, 10].

На выбор того или иного метода влияют несколько ключевых факторов [11, 12]: специфика инвестиционного проекта, наличие реализованных проектов-аналогов, выбранная контрактная стратегия, система ценообразования и др. Кроме того, отличается подход к оценке инвестиций при государственном и частном финансировании. Укрупненные нормативы цены строительства разработаны только на различные виды объектов капитального строительства непроизводственного назначения и инженерную инфраструктуру, финансирование которых осуществляется государством. В промышленном строитель-

² ЧП в Норильске. Как «рядовая» авария стала экологической катастрофой. URL: <https://dprom.online/oilngas/chp-v-norilске-kak-ryadovaya-avariya-stala-ekologicheskoy-katastrofoj>.

³ Zero Liquid Discharge (ZLD) — процесс очистки сточных вод, у которого нулевое или почти нулевое воздействие на окружающую среду. Путем комбинации нескольких процессов из сточных вод извлекаются соли (которые можно вновь использовать) и очищенная вода, которую можно снова использовать в технологическом процессе.

стве с участием частного капитала крупных и средних отраслевых компаний внедряются зарубежные методы оценки⁴.

Как правило, расчеты на предпроектной стадии служат для обоснования инвестиций или технико-экономического обоснования проекта [13, 14]. Отличительной чертой этой стадии является наличие риска, связанного с высокой неопределенностью технологических и стоимостных параметров, который выражается в расхождении от 30 до 100 %.

В последнее время важное значение принимают методики оценки полной стоимости владения закупаемой продукцией⁵. 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 вести сопоставление и анализ стоимости на всех этапах жизненного цикла возводимого или реконструируемого водоочистного сооружения [15, 16]. В дальнейших расчетах были применены именно такие подходы.

Для примера приведем отдельные данные, используемые в дальнейшем для обоснования инвестиций в реконструкцию канализационных очистных сооружений (КОС) НПЗ, целью которой являлось внедрение бессточной водооборотной системы. В соответствии с техническим заданием проведена оценка стоимости реконструкции по 5-му классу точности (из методологии ААСЕ⁶) по объектам-аналогам, а также экспертная оценка на основе технико-коммерческих предложений потенциальных разработчиков и поставщиков оборудования, инжиниринговых компаний, реализующих подобные проекты. Капитальные затраты на реконструкцию КОС производительностью 35 тыс. м³/сут могут составить до 3 млрд руб. (в ценах 2021 г.), при этом годовые эксплуатационные затраты не превышают 350 млн руб.

Более точные расчеты выполняются при составлении смет 4-го класса. На этапе разработки предпроектных решений (в международной терминологии — preFEED-проектировании) устанавливаются предпосылки для плановых или непредвиденных затрат, используют практику «контрольных точек» (wex). После каждой подготовительной фазы проводится анализ и принимается решение о том, продолжать проект или закрыть его, а также выделяется финансирование для следующего этапа. На этой стадии подготавливают сметы 4-го класса, решают следующие задачи:

⁴ Бенчмаркинг (от англ. *benchmark* — критерий, ориентир) — набор методик, которые позволяют изучить опыт конкурентов и внедрить лучшие практики в своей компании. Как правило, этот инструмент используют, чтобы сравнить свой бизнес с лучшими компаниями на рынке, то есть с эталонами. В качестве критериев могут использоваться бизнес-процессы, бизнес-подходы, затраты на производство, качество продукта, удовлетворенность клиентов.

⁵ Методические материалы по применению оценки стоимости жизненного цикла продукции при подготовке к закупке ранее не закупавшейся, в том числе инновационной, высокотехнологичной продукции. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71766688>.

⁶ ААСЕ — Association for the Advancement of Cost Engineering, наиболее распространенный в РФ международный стандарт классификации смет (Международная Ассоциация развития стоимостного инжиниринга) URL: <https://aace.ru/?ysclid=lp1989jflp817098562>.

- 1) определение структуры и способа определения стоимости проекта;
- 2) сбор информации о проектах-аналогах;
- 3) сопоставление и приведение аналогов технологических установок к требуемым параметрам;
- 4) определение стоимости инвестиционного проекта по приведенным проектам-аналогам методом моделирования.

Структура затрат для формирования стоимости инвестиционного проекта с разработкой смет 4-го класса точности на объектах по реконструкции КОС НПЗ представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура затрат и основа для формирования стоимости инвестиционного проекта

Структура затрат	Доля в общих затратах, %	Способ расчета/основа формирования стоимости
Затраты на предпроектной стадии	2...3	Фактические данные по заключенным договорам, прогнозные данные по будущим договорам (прогноз трудозатрат и среднерыночных расценок на разработку бизнес-плана и документации preFEED)
Затраты на строительство КОС	65...85	По проектам-аналогам с использованием фактической мощности
Затраты на строительство объектов общезаводского хозяйства (к технологической установке)	8...15	По проектам-аналогам с использованием фактической мощности
Управление проектом	2...4	На основе разработанного плана мобилизации или путем моделирования
Резерв	5...15	% от общей предполагаемой стоимости проекта. Определяется экспертно, зависит от сложности и степени проработки preFEED документации.

При сборе информации об объектах-аналогах особое внимание следует обратить на следующие вопросы:

- изучение территории будущего строительства или существующего объекта, климатических условий;
- технологические и массогабаритные параметры основного и вспомогательного оборудования;
- в части инженерно-технического обеспечения — анализ требований к сетям газо-, тепло-, электро-, водоснабжения и водоотведения, сетям телефонизации, радиофикации, телевидения; предполагаемые трудозатраты, физические объемы;
- стоимость реализованных проектов-аналогов, их отдельных этапов и компонентов.

На этапе подбора и сопоставления аналогов технологического оборудования с требуемыми параметрами выполняется анализ сходства выбранных объектов-аналогов с рассматриваемым объектом (основные технические

характеристики конструктивных, объемно-планировочных, технологических решений, состав технологических установок, размеры площадок и особенности компоновок). При этом определение стоимости объектов по выбранным аналогам может осуществляться:

- по фактору мощности (Capacity — factored Modeling), при наличии полных данных о стоимости объекта-аналога (Capex);
- по методу приведенных объемов (Quantities Rated Modeling), при наличии данных о физических объемах, предполагаемых трудозатратах и пр.

Окончательное решение инвестора о вложении средств в реализацию проекта принимается после этапа разработки проектной документации или front-end engineering and design. Однако в отличие от стандартной российской проектной документации содержание FEED-документации гораздо шире. При этом соблюдаются такие важные условия:

- все показатели должны быть рассчитаны по 3-му классу точности исходя из методологии AACE;
- расчеты проведены по принципу «минимального технического решения», когда минимизируются необоснованные траты при переговорах с подрядчиками;
- проработаны все риски (политические, технические, организационные, экологические) и методы по их локализации;
- осуществлена независимая экспертиза предварительных решений.

Основной целью реконструкции КОС является сокращение объемов сбрасываемых сточных вод завода и уменьшение забора сырой воды из реки за счет организации подпитки очищенными стоками современных блоков оборотного водоснабжения. Достижение поставленной цели возможно за счет последовательной поэтапной реализации проекта (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Перечень основных мероприятий по модернизации очистных сооружений и достигаемый результат

Этапы	Мероприятия	Результат реализации
1	Провести реконструкцию существующих КОС завода: восстановление бетона; перекладка сетей; частичная замена оборудования	Улучшение степени очистки по отдельным показателям: нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфиды и др. Разработанные мероприятия позволят возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафные санкции от городского водоканала за превышения
2	Построить новые сооружения — блоки биологической очистки	Мероприятия позволят 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	Построить новые сооружения — блоки доочистки.	Мероприятия позволят возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские очистные сооружения, прекратить забор речной воды из реки на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ

Выполнен расчет стоимости жизненного цикла (СЖЦ) реконструкции КОС НПЗ согласно методике ГОСТ Р 58785—2019⁷. Полученные по вариантам данные сведены в общую табл. 3. Максимальный учет показателей, определяющих затраты на стадиях строительства и последующей эксплуатации, позволил заказчику получить полную информацию по каждому из этапов.

Таблица 3

Результат расчета СЖЦ на основании предлагаемых технических решений по модернизации КОС ([15] и ГОСТ Р 58785—2019)

Составляющие элементы СЖЦ по вариантам реконструкции канализационных очистных сооружений (расчетный период — 25 лет, затраты в млн руб.)		Этап 1	Этап 2	Этап 3
C_{ic}^{3+C}	(З — земля), (С — сети)	Не учитывается		
$C_{ic}^{ПР}$	Проектирование	6	45	45
C_{ic}	Капитальная стоимость с ценой оборудования	325	1500	2150
C_{in}	Строительно-монтажные и пусконаладочные работы	58	450	665
КАПИТ	Сумма капитальных затрат	399	1995	2860
C_e	Электроэнергия	600	675	1300
C_o	Оплата труда обслуживающего персонала	Не учитывается		
C_m	Ремонт, сервисное обслуживание, реагенты	1650	7775	11150
C_s	Непредвиденные простои и недополученная продукция	1550	50	—
C_{env}	Охрана окружающей среды и предотвращение ущерба	50	15	—
C_d	Вывод объекта водоснабжения и водоотведения из эксплуатации	Не учитывается		
ЭКСПЛ	Сумма эксплуатационных затрат	3850	8515	12450
СЖЦ	Итого	4249	10510	15310

Для управленческого планирования и анализа производственных возможностей предприятия чаще используется другие методики, например [17]. Последняя основана на определении технико-экономических показателей деятельности предприятия, которые используются для оценки трудовых и технических возможностей, эффективности использования производственных фондов и трудовых ресурсов. Полученные данные являются основой для разработки производственно-финансового плана предприятия и установления нормативов на будущие периоды в рамках планирования на предприятии.

⁷ ГОСТ Р 58785—2019. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170681?ysclid=llteykimtm16557309>.

Определены затраты на модернизацию канализационных очистных сооружений с поэтапным внедрением новейших технологий, позволяющих организовать замкнутые оборотные циклы на предприятии [18, 19].

Заключение

Представлены результаты расчетов для технико-экономического обоснования реконструкции КОС НПЗ. Проведение предварительного квалификационного опроса компаний, специализирующихся на поставках технологий и оборудования для очистки сточных вод НПЗ, позволило получить оценку стоимости капитальных вложений, удовлетворяющую требованиям 5-го класса в соответствии с методикой ААСЕ. Для более точных результатов проведена оценка в соответствии с методикой по ГОСТ Р 58785—2019, определены затраты полного жизненного цикла объекта строительства.

На основе оценки затрат инвестиционных издержек, полученной на предварительной стадии, заказчиком принято решение о поэтапном проведении дальнейших работ. В соответствии с заданием заказчика проведены технико-экономические расчеты 3 вариантов реконструкции очистных сооружений НПЗ, разработана программа обоснования инвестиций с поэтапным строительством.

На первом этапе проводится реконструкция существующих КОС. Результатом реализации запроектированных решений должно стать улучшение степени очистки по отдельным показателям (нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфиды и др.). Разработанные мероприятия позволят возвращать часть очищенных стоков на отдельные блоки оборотного водоснабжения и уменьшить штрафные санкции от городского водоканала за превышения нормативно-допустимого сброса загрязняющих веществ. Инвестиционные издержки составят 399,0 млн руб. Срок окупаемости — 16 лет.

На втором этапе строятся новые блоки биологической очистки. Мероприятия позволят возвращать очищенные стоки на отдельные блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, возвращать часть стоков в качестве технической воды для предприятий-абонентов. Избыток можно направлять на сброс в реку. Инвестиционные издержки составят 1 995,0 млн руб. Срок окупаемости — 11 лет.

На третьем этапе строятся новые блоки дополнительной доочистки. Мероприятия позволят возвращать все очищенные стоки на блоки оборотного водоснабжения, прекратить сброс стоков на городские КОС, прекратить забор речной воды на технические нужды, возвращать всю воду в качестве технической воды для предприятий-абонентов и ТЭЦ. Инвестиционные издержки составят 2 859,5 млн руб. Срок окупаемости — 3 года.

Для рассматриваемого предприятия приверженность стандартам устойчивого развития является одним из приоритетов. Для повышения своей устойчивости, а также обеспечения промышленной и экологической безопасности предприятие ввело систему риск-менеджмента. Поэтому учет, анализ различных рисков и разработка противорисковых мероприятий проводятся на системной основе. Рассмотрены как варианты количественной оценки вероятности возникновения негативных процессов и явлений, снижающих качество окружающей среды, так и количественной оценки возможных ущербов в случае отказа от принятия решения о реконструкции КОС. Результаты

проведенных расчетов и исследований были использованы в инвестиционной программе предприятия на ближайшие 5 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Behrens P., Hawranek M.* Manual for the preparation of industrial feasibility studies. Newly revised and expanded edition. United Nations Industrial Development Organization preparation. Vienna, 1991. 386 p.
2. *Скворцов О. В.* Минимальная цена контракта и наиболее выгодное предложение для заказчика — понятия совершенно разные // *Архитектура и строительство*. 2011. № 10. С. 42—44.
3. *Донченко В. К., Питулько В. М., Расторгуев В. В.* Экологическая экспертиза. М. : Академия, 2004. 480 с.
4. *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.
5. *Новоселов А. Л., Лобковский В. А.* Эколого-экономический анализ замещения видов топлива при производстве тепловой и электрической энергии // *Проблемы региональной экологии*. 2014. №3. С. 71—76.
6. *Golubeva V.* Government Construction: Cost Benchmarking Principles and Expectations', Cabinet Office, 2019 // *Best Practice in Benchmarking*, IPA. 2020. 9 p.
7. *Тетеркин В. Н.* Оценка затрат на ранних этапах крупного проекта. Пример ПАО «Газпромнефть» // *Вестник ПМСОФТ*. 2017. № 13, С. 13—16.
8. *Назаров В. Д., Аксенов В. И., Назаров М. Д.* Водное хозяйство промышленных предприятий: справочное издание. Книга 5. М. : Теплотехник, 2008. 439 с.
9. *Cokins G.* Activity Based Cost Management: An Executive Guide. New York : John Wiley & Sons, 2001. 253 p.
10. *Humphreys K. K.* Project and cost Engineer's Handbook. New York : Marcel Dekker Inc., 2005.
11. *Jeffrey K., Venkataraman R. R.* Cost and Value Management in Projects by Pinto. Publisher : 1st edition, 2011. 304 p.
12. *Дубовицкая Е. А.* Сходства и различия российского и зарубежного подходов к оценке стоимости строительства нефтегазовых объектов // *Вестник ПМСОФТ*. 2018. № 14. С. 24—27.
13. *Ржевская Т. В., Петрова П. А.* Методы определения стоимости строительства на предпроектной стадии: международный опыт // *Вестник государственной экспертизы*. 2020. № 2. С. 15—21.
14. *Мухаррамова Э. Р.* Стоимостной инжиниринг в строительстве // *Российское предпринимательство*. 2016. Т. 17. № 10. С. 1179—1196.
15. *Баженов В. И., Путырев Е. И., Самбургский Г. А., Березин С. Е.* Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений для водоснабжения и водоотведения // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2018. № 2. С. 10—19
16. *Paul R., Kenway S., Mukheibir P.* How scale and technology influence the energy intensity of water recycling systems. An analytical review // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 215. Pp. 1457—1480.
17. *Велижанская С. С.* Пути повышения эффективности производства // *Планово-экономический отдел*. 2019. № 7. URL: https://www.profiz.ru/peo/7_2019/effektivnost_proizvodstva.
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.
19. *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.

© Вурдова Н. Г., Юрьев Ю. Ю., Абуова Г. Б., Изотов В. В., Москвичева Е. В., Захаров С. С., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Экономическое обоснование замкнутых водооборотных циклов на промышленном предприятии / Н. Г. Вурдова, Ю. Ю. Юрьев, Г. Б. Абуова, В. В. Изотов, Е. В. Москвичева, С. С. Захаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 111—120.

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

Абуова Галина Бекмуратовна — канд. техн. наук, доц., декан фак-та инженерных систем и пожарной безопасности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 414056, Астрахань, ул. Татищева, 18

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

Захаров Сергей Сергеевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Nadezhda G. Vurdova^a, Yurii Yu. Yur'ev^b, Galina B. Abuova^c, Vladimir V. Izotov^b, Elena V. Moskvicheva^b, Sergey S. Zakharov^b

^a JSC "HMS Neftemash"

^b Volgograd State Technical University

^c Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

ECONOMIC JUSTIFICATION OF CLOSED WATER CIRCULATION CYCLES AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

The introduction of small- and non-drainless (closed) water management systems at enterprises is the most rational way to protect the environment from pollution. Wastewater treatment of an industrial enterprise is an expensive undertaking. The degree of purification of recycled water can be much lower than it is necessary for discharge into the reservoir, so the organization of water circulation systems can provide both economic and environmental effects. However, the obvious advantages of this approach require serious technical and economic study. According to GOST R 58785—2019, the cost of the life cycle costs of the construction object is being calculated. At the pre-project stage, it is possible to carry out calculations based on averaged depersonalized data (benchmarks). Foreign valuation methods are widely used by large industry companies. The results of technical and economic calculations are presented to justify investments in the reconstruction of water treatment facilities of an oil refinery by various methods.

Key words: feasibility study, the cost of the life cycle of the construction object, closed water management systems, sewage treatment plants.

For citation:

Vurdova N. G., Yur'ev Yu. Yu., Abuova G. B., Izotov V. V., Moskvicheva E. V., Zakharov S. S. [Economic justification of closed water circulation cycles at an industrial enterprise]. *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. 5, pp. 111—120.

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

Galina B. Abuova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 18, Tatishcheva st., 414056, Astrakhan, Russian Federation

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

Sergey S. Zakharov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 697.94

А. Н. Гвоздков^а, Т. А. Дацюк^б, О. Ю. Суслова^в

^а Волгоградский государственный технический университет

^б Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

^в ООО «Н2 Тех»

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ИЗОЭНТАЛЬПИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ «ВОЗДУХ — ВОДА» С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ

Рассматривается вопрос протекания тепло- и массообмена при реализации изоэнтальпийных процессов с учетом термодинамических представлений о состоянии поверхности контакта и взаимного влияния теплообмена на влагообмен, определяемого отношением Льюиса. С позиции теории потенциала влажности рассмотрены вопросы достижения термодинамического равновесия в системе «воздух — вода» с учетом состояния поверхностной фазы на границе раздела сред в условиях реализации изоэнтальпийных процессов, что позволило сделать вывод, что в качестве параметров поверхности раздела следует рассматривать конечные параметры обрабатываемого воздуха. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований изоэнтальпийных процессов показали их высокую термодинамическую эффективность и возможность дальнейшего совершенствования систем кондиционирования воздуха на основе его испарительного охлаждения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: температура поверхности контакта, потенциал влажности, изоэнтальпийный процесс, отношение Льюиса, эффективность.

Введение

В последнее время большое внимание уделяется решению проблемы совершенствования систем кондиционирования воздуха (СКВ), этому посвящается большое количество научных исследований, направленных на разработку новых схемных решений и технологий обработки воздуха [1, 2]. Следует подчеркнуть возросший интерес к СКВ на основе испарительных методов охлаждения воздуха и создания принципиально новых технических решений с высокими показателями эффективности обработки воздуха [2—5].

Одним из путей совершенствования СКВ является повышение их теплоэнергетической эффективности за счет снижения затрат энергии на обработку приточного воздуха [1, 6, 7]. Это может быть достигнуто в различных типах СКВ на основе испарительного охлаждения воздуха, в частности, при реализации изоэнтальпийных процессов, отличающихся высокой термодинамической эффективностью [2—4].

В данных процессах особое значение имеет величина температуры воды в случае равновесного изоэнтальпийного испарения, когда весь конвективный тепловой поток от воздуха затрачивается на ее испарение. Эту температуру часто называют *истинной температурой мокрого термометра* t_m . В СКВ, которая так или иначе связана с температурой поверхности воды [3, 8, 9].

Известные аналитические решения относительно определения температуры поверхности воды не учитывают термодинамические закономерности протекания обменных процессов и носят условный характер, что не позволяет с достаточной степенью точности определять потенциалы переноса,

значения коэффициентов тепло- и влагообмена и другие показатели, характеризующие процессы тепло- и массообмена (ТМО) в системе «воздух — вода» [10—12].

При этом необходимо учитывать энергетическое состояние поверхностной фазы, которое, в зависимости от направления процесса ТМО, может находиться в различной степени насыщенности и полностью определять параметры поверхности раздела контактирующих сред, в частности, температуру поверхности воды на границе раздела фаз [13]. С этой позиции поверхностная фаза будет представлять некоторое термическое сопротивление R_i , что не учитывается при выполнении анализа и численного моделирования процессов совместного тепло- и массопереноса [3, 4, 14].

Предмет и результаты исследования

Одной из важнейших особенностей протекания процесса ТМО между воздухом и водой является то, что он рассматривается как одновременный и взаимосвязанный перенос теплоты и влаги между воздухом основного потока и насыщенным влажным воздухом, прилегающим к поверхности воды. При этом процесс ТМО в системе «воздух — вода» описывается различными физико-математическими моделями [2—5, 11, 15].

На $I-d-\Theta$ диаграмме изохральные процессы обработки воздуха обычно изображаются прямой линией, соединяющей точки начального Н и конечного К его состояний (рис. 1).

В качестве температуры поверхности воды принимается значение t_m на линии насыщения $\varphi = 100\%$ (т. Ж), исходя из предположения, что над поверхностью воды находится насыщенный пограничный слой воздуха, а движущей силой процесса влагообмена является разность парциальных давлений или влагосодержаний [3, 8, 9].

Следует отметить, что такой традиционный подход к пониманию параметров поверхности контакта в системе «воздух — вода» обычно используется в виде допущения при изучении процессов ТМО, но не имеет четкого термодинамического обоснования [3, 5, 9].

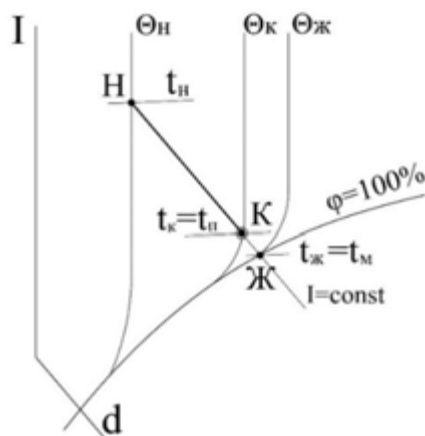


Рис. 1. Изоэнтальпийный процесс обработки воздуха на $I-d-\Theta$ диаграмме: Н — начальные параметры воздуха; К — конечные параметры воздуха; Θ — линия постоянного потенциала влажности; t_m — температура «мокрого» термометра

Так понятие *температура поверхности* используется практически во всех физико-математических моделях при рассмотрении обменных процессов в системе «воздух — жидкость», но определить ее истинное значение практически невозможно [2, 9, 11, 12].

Если же исходить из выводов теоретических и экспериментальных исследований системы «воздух — вода», полученных на основе теории потенциала влажности, учитывающей термодинамические закономерности протекания процессов тепло- и влагообмена, температура поверхности при реализации изоэнтальпийных процессов будет однозначно определяться состоянием поверхностной фазы, параметры которой соответствуют конечным параметрам обрабатываемого воздуха t_k , находящегося в области ненасыщенного влажного воздуха при значении φ_k в диапазоне 90...95 %. [6, 10].

Данный вывод получен на основе анализа термодинамической модели системы «воздух — вода», включающей поверхностные слои и фазы, проведения теоретических и экспериментальных исследований процессов тепло- и влагообмена с позиции основных положений термодинамики необратимых процессов [6, 13].

В качестве движущих сил процессов ТМО обычно рассматриваются при переносе теплоты разность температур, а при переносе влаги — разность парциальных давлений, концентраций содержания водяных паров, влагосодержаний, потенциалов влажности и др. [2—6, 10].

Отличительная особенность изоэнтальпийных процессов состоит в том, что при их реализации имеют место однонаправленные потоки теплоты и влаги по всей поверхности контакта в системе «воздух — вода». Причем поток теплоты направлен от воздуха к воде, а поток влаги направлен от воды к воздуху [3, 9, 11].

Основными характеристиками процессов тепло- и массопереноса для α -модели являются коэффициенты переноса α и β_Θ .

В условиях молярного переноса имеет место соотношение, называемое отношением Льюиса:

$$Le = \frac{\alpha}{\beta_\Theta} = c_b, \quad (1)$$

где α и β_Θ — коэффициенты тепло- и массообмена.

В изоэнтальпийных процессах обработки воздуха имеет место выполнение отношения Льюиса [3, 9, 11], что подтверждает подобие процессов тепло- и массопереноса и позволяет дать оценку степени влияния влагообмена на интенсивность теплообмена и говорить о высокой термодинамической эффективности их реализации.

Таким образом, в изоэнтальпийных процессах имеет место увлажнение и охлаждение обрабатываемого воздуха, температура воды в объемной фазе при взаимодействии с воздухом приобретает температуру мокрого термометра (t_m), а отношение Льюиса сохраняет практически постоянное значение, равное c_b [3, 11, 16].

Рассмотрим особенности процесса реализации изоэнтальпийного увлажнения воздуха. Связь между потоками тепла q и влаги j определяется по выражениям:

$$q = \alpha(t_n - t_{пов}), \quad (2)$$

$$j = \beta_\theta(\theta_{пов} - \theta_n), \quad (3)$$

где t_n , $t_{пов}$, θ_n , $\theta_{пов}$ — соответственно температура и потенциал состояния влаги (потенциалы влажности) в объемной фазе воздуха и в поверхностной фазе на границе раздела сред.

При рассмотрении в качестве движущей силы процесса влагообмена разности концентраций водяных паров получим выражение для потока влаги:

$$j = \beta_c(C_{пов} - C_n). \quad (4)$$

При изоэнтальпийном увлажнении воздуха, когда вся подводимая теплота затрачивается на испарение воды:

$$q = rj, \quad (5)$$

где r — удельная теплота парообразования.

Тогда балансовое уравнение по теплу будет иметь вид:

$$\alpha(t_n - t_{пов}) = r\beta_\theta(\theta_{пов} - \theta_n). \quad (6)$$

Это будет иметь место в случае, когда параметры поверхности раздела на границе раздела сред (воздуха и воды) определяются состоянием в т. К (см. рис. 1):

$$t_n - t_{пов} = r \frac{\beta_\theta}{\alpha} (\theta_{пов} - \theta_n). \quad (7)$$

То есть с позиции теории потенциала влажности в качестве расчетной следует принимать разность между температурой воздуха в основном потоке (объемная фаза) и температурой поверхности, соответствующей конечным параметрам обрабатываемого воздуха.

Если следовать традиционному подходу, то в качестве температуры поверхности $t_{пов}$ следует использовать значение t_m обрабатываемого воздуха. В этом случае выражение для психрометрической разности температур будет иметь вид [16]:

$$t_n - t_m = \left(\frac{D}{\lambda} \frac{r}{Pr} \right) \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^m \left(\frac{P_{0\mu}}{R\mu T_0} \right) \left[\left(\frac{T_0}{T_1} \right) \left(\frac{P_1}{P_0} \right) - \Phi_0 \right]. \quad (8)$$

Выражение (8) было получено с учетом 2 допущений:

- процессы тепло и влагообмена подобны, т. е.:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \left(\frac{D}{\lambda} \right) \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^m, \quad (9)$$

где D — коэффициент диффузии, λ — коэффициент теплопроводности, Sc — критерий Шмидта, Pr — критерий Прандтля;

- пары жидкости являются идеальным газом, т. е.:

$$C = \frac{P_\mu}{R_\mu T}, \quad (10)$$

где C — концентрация водяных паров; P — давление; R_μ — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Кривая насыщения влажного воздуха при $\varphi = 100\%$ описывается уравнением Клапейрона [17]:

$$\frac{P_1}{P_0} = \exp \left[\left(\frac{r_\mu}{R_\mu} \right) \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right) \right]. \quad (11)$$

С учетом принятых допущение уравнение (8) может быть представлено в виде:

$$\frac{t_0 - t_m}{T_0} = \frac{D}{\lambda} \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^m \frac{P_0}{T_0} \left(\frac{r_\mu}{R_\mu T_0} \right) \left[\frac{T_0}{T_1} \exp \left[\frac{r_\mu}{R_\mu T_0} \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \right] - \varphi_0 \right]. \quad (12)$$

Окончательная запись уравнения (8) в безразмерном виде:

$$\frac{\exp \left(-a \left[\frac{1-y}{y} \right] \right)}{y - \frac{1-y}{ab}} = \varphi_0. \quad (13)$$

В выражение (13) входят следующие параметры:

$$\begin{aligned} y &= \frac{T_1}{T_0}, \\ a &= \frac{r_\mu}{R_\mu T_0}, \\ b &= \frac{D}{\lambda} \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^m \frac{P_0}{T_0}, \\ \varphi &= \frac{C_0}{C_n(t_0)}. \end{aligned} \quad (14)$$

Индекс 1 соответствует состоянию насыщения при абсолютной температуре воды $T_1 = t_m + 273,15$, а индекс 0 — состоянию насыщения воздушного потока $T_0 = t_n + 273,15$.

Значение φ_0 является относительной влажностью воздуха при его температуре t_n . Параметр b определяется физическими свойствами паров воды D , P_0 и потока воздуха λ , t_n . Условия конвективного теплообмена представлены в виде входящего в параметр b отношения $\left(\frac{Sc}{Pr} \right)^m$.

Зависимость $y = y(a, b, \varphi_0)$ с учетом выражений (13) и (14) при реализации изоэнтальпийных процессов представлена на рис. 2 [16].

На рисунке 3 представлены результаты построений зависимости $t_n - t_{пов}$ от относительной влажности воздуха при температуре $t_n = 20^\circ\text{C}$ с учетом:

- традиционных представлений о том, что $t_{пов} = t_M$ (линия 4);
- подхода с позиции теории потенциала влажности, исходя из того, что $t_{пов} = t_K$ (линия 4').

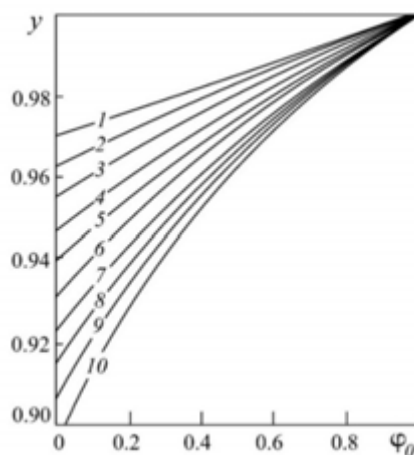


Рис. 2. Зависимость $y = y(a, b, \varphi_0)$ на основе характеристического уравнения (13) для изоэнтальпийного процесса при различной температуре по сухому термометру t_n : 1 — $t_0 = 5^\circ\text{C}$; 2 — $t_0 = 10^\circ\text{C}$; 3 — $t_0 = 15^\circ\text{C}$; 4 — $t_0 = 20^\circ\text{C}$; 5 — $t_0 = 25^\circ\text{C}$; 6 — $t_0 = 30^\circ\text{C}$; 7 — $t_0 = 35^\circ\text{C}$; 8 — $t_0 = 40^\circ\text{C}$; 9 — $t_0 = 45^\circ\text{C}$; 10 — $t_0 = 50^\circ\text{C}$

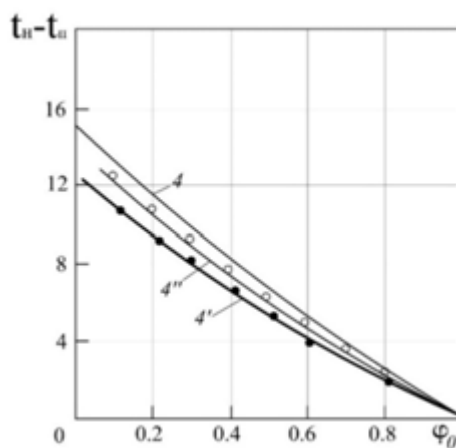


Рис. 3. Построение зависимости $t_n - t_{пов}$ от относительной влажности обрабатываемого воздуха: линия 4 — при использовании традиционного подхода; линия 4' — на основе использования теории потенциала влажности влажного воздуха при температуре по сухому термометру $t_n = 20^\circ\text{C}$ расчетно-экспериментальная зависимость, определенная по психометрической диаграмме [3] и по $I-d$ диаграмме влажного воздуха при скорости воздуха у смоченного термометра психрометра $0,8\text{ м/с}$; линия 4'' — то же при скорости 2 м/с

Линией 4 показана рассчитанная с помощью уравнения (13) зависимость психометрической разности $t_n - t_m$ от относительной влажности φ_0 потока воздуха, имеющего температуру $t_n = 20$ °С. Эта кривая получена из соответствующей кривой 4 (см. рис. 2) пересчетом

$$t_0 - t_m = (1 - y)(t_n + 273,15).$$

Линией 4' показана зависимость $t_n - t_{пов}$ по результатам теоретических и экспериментальных исследований изоэнтальпийных процессов с позиции теории потенциала влажности.

Сравнение представленных расчетных (линия 4) и расчетно-экспериментальных (линия 4') зависимостей показывает, что различие между кривыми остается во всем диапазоне φ_0 практически постоянным и составляет 17...18 %.

Следует отметить, кривая 4' практически полностью совпала с кривой расчетно-экспериментальной зависимости, полученной при определении относительной влажности атмосферного воздуха с помощью используемого на метеостанциях стационарного психрометра при скорости воздуха вдоль «мокрого» термометра 0,8 м/с. Эти данные приведены в официальных психометрических таблицах [18].

Это подтвердило правомерность использования в теоретических и практических расчетах при определении температуры поверхности контакта, конечных параметров воздуха, получаемых в результате реализации изоэнтальпийных процессов ТМО в системе «воздух — вода».

Выводы

Использование теории потенциала влажности позволило подтвердить результаты ранее проведенных исследований, что в качестве температуры поверхности контакта следует принимать значение конечных параметров обрабатываемого воздуха. Анализ особенностей реализации изоэнтальпийных процессов позволяет сделать вывод об их высокой термодинамической эффективности, что является основой для разработки энергоэффективных схемных решений СКВ и воды на основе использования испарительного охлаждения, обеспечивающего минимальные затраты энергии на тепловлажностную обработку воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокорин О. Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования. М. : АСВ, 2013. 256 с.
2. Pandelidis D., Anisimov S., Worek W. M. Performance study of the Maisotsenko Cycle heat exchangers in different air-conditioning applications // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 81. Pp. 207—221.
3. Doroshenko A. V., Antonova A. R., Khalak V. F., Goncharenko A. S. Low-Temperature Evaporative Air Coolers. Development and Analysis of Opportunities // Probleme energeticii regionale. 2018. Vol. 3. Iss. 38. Pp.141—155.
4. Салман А. С., Сулин А. Б., Лысев В. И., Рябова Т. В. Обоснование энергоэффективных процессов обработки воздуха в системах кондиционирования // Вестник Международной академии холода. 2021. С. 23—31.
5. Duan Z., Zhan C., Zhang X., Mustafa M. Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials // Renewable and Sustainable Energy. 2112. Vol. 16. Iss. 9. Pp. 6823—6850.

6. Gvozdkov A., Suslova O. Some Aspects of Improving the Efficiency of Air Treatment in the Contact Units of HVAC Systems // *Environmental Engineering: 10th International Conference Vilnius Gediminas Technical University Lithuania*. 2017. DOI: 10.3846/enviro.2017.258.
7. Карпус Е. Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. М. : Стройиздат, 1986. 268 с.
8. Khudheyer A. F. Experimental study for heat and mass transfer from moist air flowing over moving water film. *ARNP // Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011. Vol. 6. Iss. 7. Pp. 110—117.
9. Богословский В. Н., Поз М. Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М. : Стройиздат, 1983. 320 с.
10. Гвоздков А. Н. Тепло- и влагообмен в системе «воздух — вода» с позиции теории потенциала влажности // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 11-12(683-684). С. 31—40.
11. Гвоздков А. Н. Общая характеристика процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах и методов их расчета. // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2006. Вып. 6(21). С. 148—153.
12. Poós T., Varju E. Mass transfer coefficient for water evaporation by theoretical and empirical correlations // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Elsevier. 2020. Vol. 153. 119500.
13. Гидродинамика поверхностных явлений / В. В. Гогосов, В. А. Налетова, Н. Г. Тактаров, З. Б. Чыонг, Г. А. Шапошникова // *Прикладная математика и механика*. 1984. Т. 48. Вып. 3. С. 388—396.
14. Blagojevic B., Bajsic I. A One-dimensional droplet flow numerical model of heat and mass transfer in air — water // *Heat and Mass Transfer*. 1996. Vol. 31. Pp. 435—441.
15. Тарабанов М. Г., Видин Ю. В., Бойков Г. П. Тепло- и массоперенос в камерах орошения кондиционеров с форсунками распыления. Красноярск : КПИ, 1977. 210 с.
16. Майоров В. А. Аналитическое определение равновесной температуры адиабатно испаряющейся жидкости // *Инженерно-физический журнал*. 2001. Т. 74. Вып. 5. С. 59—62.
17. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Л. : Химия, 1982. 592 с.
18. Беспалов Д. П., Матвеев Л. Т., Козлов В. Н., Наумова Л. И. Психрометрические таблицы. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 272 с.

© Гвоздков А. Н., Дацюк Т. А., Сусллова О. Ю., 2023

Поступила в редакцию
в ноябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Гвоздков А. Н., Дацюк Т. А., Сусллова О. Ю. Особенности протекания изоэнтальпийных процессов в системе «воздух — вода» с позиции теории потенциала влажности // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 5(93). С. 121—129.

Об авторах:

Гвоздков Александр Николаевич — канд. техн. наук., доц., доц. каф. энергоснабжения, тепло-техники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57206674119; angvo@mail.ru

Дацюк Тамара Александровна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительной физики, электроэнергетики и электротехники, директор сектора физико-технических испытаний строительных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4; Scopus ID: 5647913500; tdatsuk@mail.ru

Сусллова Ольга Юрьевна — инженер, администратор проекта, ООО «Н2 Тех». Российская Федерация, 119180, г. Москва, 2-й Казачий переулок, 4, стр. 1; Scopus ID: 57210027173; oysus@mail.ru

Alexander N. Gvozdkov^a, Tamara A. Datsuk^b, Olga Yu. Suslova^c

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

^c *LLC "2 Tech"*

FEATURES OF THE FLOW OF ISOENTALPY PROCESSES IN THE AIR — WATER SYSTEM FROM THE POSITION THEORIES OF HUMIDITY POTENTIAL

The article deals with the issue of heat and mass transfer during the implementation of isoenthalpy processes, taking into account thermodynamic ideas about the state of the contact surface and the mutual influence of heat exchange on moisture exchange, determined by the Lewis ratio. From the perspective of the theory of humidity potential, the issues of achieving thermodynamic equilibrium in the air — water system are considered, taking into account the state of the surface phase at the interface of media under conditions of isenthalpy processes, which allowed us to conclude that the final parameters of the treated air should be considered as the parameters of the interface. The obtained results of theoretical and experimental studies of isoenthalpy processes have shown their high thermodynamic efficiency and the possibility of further improvement of air conditioning systems based on its evaporative cooling.

Key words: contact surface temperature, humidity potential, isoenthalpy process, Lewis ratio, efficiency.

For citation:

Gvozdkov A. N., Datsuk T. A., Suslova O. Yu. [Features of the flow of isoenthalpy processes in the air — water system from the position theories of humidity potential]. *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. 5, pp. 121—129.

About authors:

Alexander N. Gvozdkov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57206674119; angvo@mail.ru

Tamara A. Datsuk — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, 2nd Krasnoarmeiskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation. Scopus ID: 5647913500; tdatsuk@mail.ru

Olga Yu. Suslova — Engineer, project administrator, LLC "2 Tech". 4, 2th Kazachiy lane, Moscow, 119180, Russian Federation. Scopus ID: 57210027173; oy-sus@mail.ru

УДК 697.911

А. Н. Гвоздков^а, О. Ю. Сулова^б, А. Ю. Ким^а

^а Волгоградский государственный технический университет

^б ООО «Н2 Тех»

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЛОРИСТОГО ЛИТИЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С УТИЛИЗАЦИЕЙ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Рассматриваются особенности использования хлористого лития при решении вопросов повышения эффективности обработки воздуха в системах кондиционирования и утилизации низкопотенциальных вторичных энергоресурсов, в частности теплоты и влаги удаляемого воздуха. Рассмотрен механизм протекания процессов тепло- и влагообмена в системе «воздух — хлористый литий». Приведены результаты экспериментального исследования процессов тепло- и влагообмена в виде критериальных уравнений Nu , Nu'_0 между воздухом и хлористым литием, показавшие возрастание обменных процессов при увеличении концентрации раствора более 30 %. Предложена двухконтурная система утилизации теплоты и влаги удаляемого воздуха, позволяющая повысить эффективность системы утилизации и систем кондиционирования воздуха в целом.

Ключевые слова: хлористый литий, система утилизации, системы кондиционирования воздуха, процессы тепло- и влагообмена, эффективность.

Введение

В последнее время большой интерес представляет использование в системах кондиционирования воздуха (СКВ) растворов сорбентов с целью повышения эффективности протекания процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах и расширения их функциональных возможностей [1—4].

В ряде случаев использование растворов сорбентов позволяет значительно расширить границы обработки воздуха в одном контактном аппарате, а также отказаться от второго подогрева, предотвращая нерациональное одновременное потребление теплоты и холода [5, 6].

Наибольшее распространение в СКВ получило использование раствора хлористого лития LiCl [5, 7—9]. Это связано с тем, что раствор LiCl:

1) является сильным абсорбентом и позволяет получать в процессе обработки воздух с низким конечным влагосодержанием (до 1 г/кг). Это дает возможность обеспечивать все требуемые параметры воздуха в обслуживаемых помещениях в пределах температур $-15...+50$ °С и относительной влажности 5...100 %, т. е. позволяет в пределах рабочего пространства контактного аппарата производить как охлаждение и осушение, так и нагрев и увлажнение приточного воздуха;

2) обладает сильным бактерицидным действием, что позволяет при обработке воздуха снизить содержание вредных микроорганизмов на 90...97 %. Он совершенно безвреден для людей, частично сорбирует запахи в воздухе [6, 9, 10];

3) может использоваться в качестве промежуточного теплоносителя в системах тепло- и влагоутилизации низкопотенциальных вторичных энергетических ресурсов (НП ВЭР), что позволяет на 25...30 % повысить эффективность работы СКВ и снизить затраты энергии на обработку приточного воздуха [11—13].

Описание процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах носит в основном эмпирический характер. Это связано, в первую очередь с тем, что коэффициенты тепло- и влагообмена определяются экспериментальным путем для каждого типа контактного аппарата, используемого в СКВ, и зависят от большого числа факторов: скорости движения контактирующих сред, их физических свойств, площади поверхности контакта (определить которую в ряде случаев не представляется возможным). Поэтому для описания процессов тепломассообмена (ТМО) между воздухом и LiCl устанавливаются критериальные зависимости в виде степенных функций типа:

$$Nu = f(Re, Pr, Ar, \bar{T}, \bar{p}, \dots)$$

$$Nu' = f(Re, Pr', Ar, Sp, \bar{T}, \bar{p}, \dots)$$

где Nu , Nu' — тепловой и диффузный критерии Нуссельта; Re , Ar — гидродинамические критерии Рейнольдса и Архимеда; Sp — критерий Стефана, учитывающий влияние поперечного потока массы; T , p — параметрические критерии для учета начальных условий взаимодействия.

Анализ критериальных зависимостей, полученных различными авторами, показывает, что они носят частный характер и справедливы только для расчета процессов тепло- и влагообмена (ТВО) применительно к конкретным видам контактных аппаратов [1, 9].

При этом авторами не учитываются условия ТВО на границе раздела сред, физико-химические особенности раствора LiCl и др., ввиду чего получаемые значения обменных коэффициентов имеют большой разброс значений (до 40 %), а получаемые выводы носят противоречивый характер.

Предмет исследования и результаты

Как известно, на контакте сред находится переходная область, включающая в себя пограничные и поверхностные фазы со стороны воздуха и жидкости, в пределах которой характеристики сред изменяются от значений в одной до значений в другой объемных фазах [14, 15].

В пределах поверхностной фазы находятся молекулы воды, направление перемещения которых относительно поверхности раздела сред зависит от состояния контактирующих сред в их объемных фазах.

Рассмотрим физико-химические свойства раствора LiCl. Соединение является сильным электролитом, диссоциированным на ионы, которые окружены молекулами воды, имеющими дипольное строение. Молекулы воды находятся в сольватных оболочках ионов Li^+ и Cl^- . Различают первую, вторую и т. д. оболочки. Наиболее сильными являются связи между ионами и первой сольватной оболочкой (рис. 1).

Число частиц в первой сольватной оболочке называется координационным числом сольватации. Для ионов Li^+ координационное число равно 4, а для Cl^- — 8, т. е. одна молекула LiCl связывает 12 молекул воды.

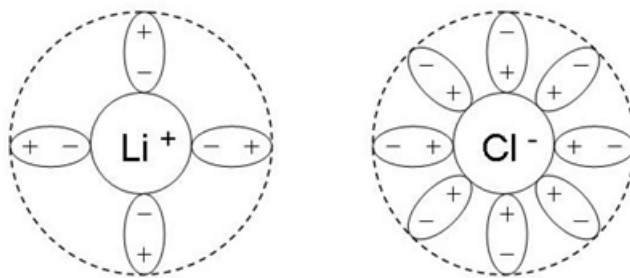


Рис. 1. Структура первой сольватной оболочки ионов Li^+ и Cl^-

При концентрации раствора LiCl , когда вся наличная влага включена в гидратные сферы, наблюдается граница полной гидратации (ГПГ). Она связана с определенной концентрацией раствора и составляет 16,4 % (1 г-моль LiCl связывает 12 г-молей воды, т. е. 42,3 г LiCl связывает 216 г воды, что соответствует концентрации раствора $\varepsilon_p = 16,4\%$). Таким образом, ГПГ является одним из определяющих факторов при изучении механизма процессов ТВО между воздухом и раствором LiCl .

Следует отметить, что LiCl относится к поверхностно инактивным веществам (ПИВ) [16, 17]. При растворении ПИВ в воде происходит их самопроизвольное вытеснение из пограничной фазы в объемную фазу раствора. Из сказанного следует, что концентрация раствора LiCl в пограничной фазе будет несколько ниже, чем в объемной.

Анализ экспериментальных данных, полученных в [6], показал, что минимальное изменение концентрации раствора составляет 2,5...3 %.

Рассмотрим характерные сочетания параметров воздуха и раствора LiCl , представленные на $I-d-\Theta$ диаграмме (рис. 2).

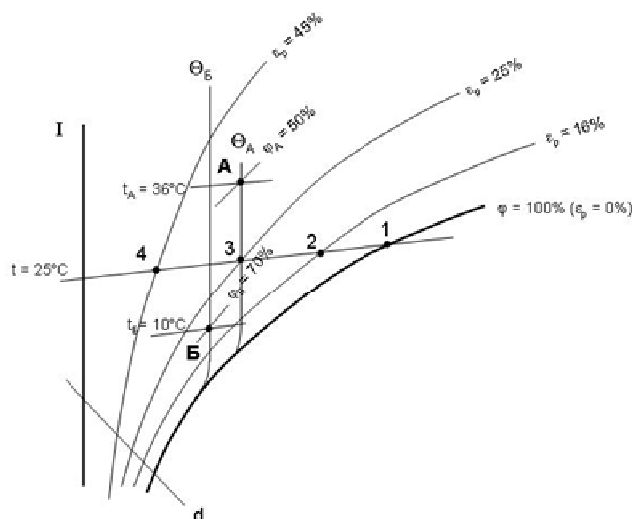


Рис. 2. Характерные сочетания параметров воздуха (т. А и Б) и раствора LiCl (тт. 1, 2, 3 и 4) на $I-d-\Theta$ диаграмме: т. А — параметры воздуха в объемной фазе — $t_c = 36^\circ\text{C}$, $\varphi = 50\%$; т. Б — $t_c = 10^\circ\text{C}$, $\varphi = 70\%$; параметры раствора LiCl в его объемной фазе (тт. 1, 2, 3, 4) — $t_p = 25^\circ\text{C}$, $\varepsilon_p = 0...45\%$

При значениях параметров воздуха в объемной фазе $t_A = 36\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_A = 50\%$ (т. А) и изменении параметров раствора LiCl, в частности его концентрации от 0 (т. 1) до 25 % (т. 3), разность потенциалов влажности $\Delta\Theta = \Theta_p - \Theta_b > 0$, т. е. имеет место процесс десорбции, когда поток влаги будет направлен от раствора к воздуху.

При повышении концентрации раствора от 25 (т. 3) до 45 % (т. 4) разность потенциалов влажности $\Delta\Theta = \Theta_p - \Theta_b < 0$, т. е. имеет место процесс сорбции, когда поток влаги будет направлен от воздуха к раствору.

В условиях десорбции при концентрации раствора $\varepsilon_p = 0...16,4\%$ связи ионов Li^+Cl^- и воды ослаблены, и молекулы воды практически свободно могут перемещаться из объемной фазы раствора в объемную фазу воздуха. В данных условиях концентрация раствора не будет оказывать существенное влияния на результирующее значение коэффициента влагообмена.

При увеличении концентрации раствора ε_p от 16,4 до 25 % усилятся межмолекулярные связи, молекулы воды начнут отбираться от сольватных оболочек и активно удерживаться в объемной фазе раствора LiCl. То есть увеличение концентрации раствора приводит к снижению интенсивности процесса десорбции, в результате чего имеет место снижение результирующих значений коэффициента влагообмена.

В условиях сорбции при максимальных значениях концентрации раствора $\varepsilon_p = 40...45\%$, когда раствор близок к состоянию насыщения (т. 4), связи ионов Li^+Cl^- и воды очень сильны. В данном случае раствор имеет максимальную сорбционную активность, а положительная разность потенциалов массопереноса ($\Delta\Theta = \Theta_b - \Theta_p > 0$) усиливает процесс сорбции, результирующее значение коэффициента влагообмена имеет максимальное значение.

По мере приближения к равновесному состоянию между параметрами воздуха и раствора в их объемных фазах (т. 3, $\varepsilon_p = 25\%$, $\Delta\Theta = \Theta_b - \Theta_p = 0$) процесс влагообмена прекращается, однако сорбционная активность раствора сохраняется ввиду того, что ε_p превышает 16,4 %, соответствующей ГПП.

Таким образом, при изучении процессов тепло- и влагообмена в системе «воздух — LiCl» следует учитывать 2 определяющих фактора:

4) движущие силы влагообмена ($\Delta\Theta$), которые определяют направление протекания процесса и предельное равновесное состояние;

5) силы межмолекулярного взаимодействия в объемной фазе раствора (относительно ГПП), изменяющие сорбционные свойства LiCl при изменении его концентрации.

Использование LiCl в СКВ позволяет реализовывать различные по направленности процессы переноса теплоты и влаги. Для установления количественных зависимостей проведены экспериментальные исследования процессов тепло- и влагообмена в системе «воздух — LiCl» с учетом влияния на поверхности раздела фаз. Установлены эмпирические зависимости для коэффициентов тепло- и влагообмена между воздухом и растворами LiCl различной концентрации в условиях сорбции водяных паров.

Основными факторами, влияющими на протекание процессов тепло-массообмена, полагались скорость движения воздушного потока над поверхностью раствора LiCl, а также физические свойства обменивающихся сред с учетом поверхностных явлений на линии раздела фаз, что учитывалось симплексом $k = T_c/T_{\text{пов}}$.

Эксперименты проводились при скоростях воздуха от 0,79 до 2,14 м/с, при его температуре от 18 до 30 °С.

Концентрация раствора изменялась от 4 до 39 %, а температура его поверхности от 16 до 24 °С.

Для исследования процесса переноса влаги в поверхностных слоях и фазах в системе «воздух — LiCl» использовался единый потенциал состояния влаги — потенциал влажности Θ .

Для описания процессов теплообмена были получены аналитические зависимости:

$$Nu = c_1 \cdot Pr^{0,33} \cdot Re^{0,81} \cdot \varepsilon_p^{-0,1} \cdot k^{0,6} \quad (1)$$

при $k = 1,013 \dots 1,026$; $c_1 = 0,012 \dots 0,02$.

Зависимости для процессов влагообмена имеют вид:
при концентрации раствора от 0 до 30 %

$$Nu'_\Theta = c_2 \cdot (Pr'_\Theta)^{-2} \cdot Re^{1,07} \cdot \varepsilon_p^{0,34} \cdot k^{-0,06}, \quad (2)$$

при $k = 1,02 \dots 1,025$; $c_2 = 0,00082 \dots 0,00078$;

при концентрации раствора от 30 до 42 %:

$$Nu'_\Theta = c_3 \cdot (Pr'_\Theta)^{-2} \cdot Re^{1,07} \cdot \varepsilon_p^{0,72} \cdot k^{-0,1}, \quad (3)$$

где Nu , Nu'_Θ — тепловой и диффузионный критерии Нуссельта, Re — критерий Рейнольдса, ε_p — концентрация раствора LiCl.

Зависимости (1—3) определены при изменении критерия Re от $2 \cdot 10^3$ до $20 \cdot 10^3$ и концентрациях раствора $\varepsilon_p = 0 \dots 42$ %.

В полученных зависимостях использован симплекс $k = T_c/T_{пов}$, представляющий отношение температуры по «сухому» термометру в объемной фазе воздуха к температуре поверхности контакта.

Экспериментально установлено возрастание интенсивности протекания процессов влагообмена при взаимодействии воздуха с раствором LiCl концентрации более 30 %, поэтому приводятся 2 зависимости для определения диффузионного критерия Нуссельта Nu'_Θ , которые могут быть использованы для определения коэффициентов влагообмена.

Система утилизации НП ВЭР

По конструктивному исполнению системы утилизации НП ВЭР можно разделить на 2 типа:

1) предусматривающие получение требуемых параметров приточного воздуха посредством придания определенных параметров (температура и концентрация) раствору LiCl, циркулирующему в контуре промежуточного теплоносителя;

2) используемые в качестве блока СКВ и обеспечивающие только предварительный подогрев и увлажнение приточного воздуха.

Наибольшее распространение получили системы второго типа.

Как известно, одной из причин низкой эффективности утилизации НП ВЭР в СКВ является то, что в системах с промежуточным теплоносителем циркулирует раствор одинаковой концентрации, величина которой определяется условиями тепло- и влагообмена в контактном аппарате наружного воздуха и обычно ниже 30 %.

Учитывая результаты экспериментальных исследований процессов тепло- и влагообмена, с целью повышения эффективности использования теплоты и влаги вытяжного воздуха разработан способ утилизации НП ВЭР, реализация которого представлена на рис. 3.

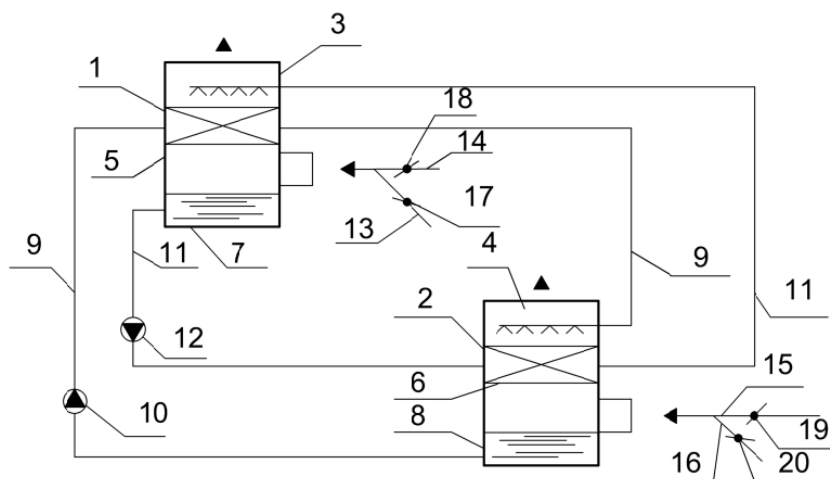


Рис. 3. Система утилизации НП ВЭР с двумя контурами циркуляции промежуточного теплоносителя: 1, 2 — орошаемый поверхностный теплообменник; 3, 4 — оросительное устройство; 5, 6 — поверхностный теплообменник; 7, 8 — поддон; 9 — основной циркуляционный контур; 10 — насос; 11 — дополнительный контур; 12 — насос; 13, 14, 15, 16 — воздуховод; 17, 18, 19, 20 — воздушный клапан

Система утилизации содержит орошаемые поверхностные теплообменники вытяжного 1 и наружного 2 воздуха, включающие в себя оросительные устройства 3 и 4, поверхностные теплообменники 5 и 6, поддоны 7 и 8.

Теплообменник 5 вытяжного канала соединен с оросительным устройством 4 и поддоном 8 приточного канала и образует основной циркуляционный контур 9, циркуляция раствора LiCl в котором обеспечивается насосом 10. В свою очередь теплообменник 6 приточного канала соединен с оросительным устройством 3 и поддоном 7 вытяжного канала и образует дополнительный циркуляционный контур 11, циркуляция раствора в котором обеспечивается насосом 12.

Для осуществления периодической реконцентрации раствора LiCl, циркулирующего в дополнительном контуре 11, предусматривается подача в каждый орошаемый поверхностный теплообменник как наружного, так и вытяжного воздуха посредством воздуховодов 13, 14, 15 и 16 с установленными на них воздушными клапанами 17, 18, 19 и 20.

Система работает в режиме утилизации ВЭР следующим образом.

Вытяжной воздух поступает в орошаемый поверхностный теплообменник 1, где происходит утилизация его тепловой энергии. При этом раствор LiCl с высокой концентрацией ($\epsilon_p = 30 \dots 42 \%$) разбрызгивается оросительным устройством 3, орошая поверхностный теплообменник 5, а раствор, циркулирующий в основном контуре (ϵ_p ниже 30 %), проходит по внутреннему пространству теплообменника 5.

Взаимодействие вытяжного воздуха с раствором LiCl высокой концентрации приводит к интенсивному протеканию процессов тепло- и влагообмена. При этом в процессе химической сорбции влаги происходит значительное выделение теплоты сорбции, что способствует значительному увеличению полного теплообмена и более высокому нагреву как раствора высокой концентрации дополнительного контура, так и раствора основного контура. В конечном итоге достигается повышение эффективности утилизации тепловой энергии вытяжного воздуха.

После взаимодействия нагретый раствор высокой концентрации собирается в поддоне 7 и насосом 12 подается по дополнительному контуру 10 в поверхностный теплообменник 6, а нагретый раствор рабочей концентрации, циркулирующий в основном контуре, подается на оросительное устройство 4 и разбрызгивается на поверхностный теплообменник 6, где происходит его взаимодействие с наружным воздухом.

В результате взаимодействия утилизируемая тепловая энергия передается наружному воздуху, который при этом нагревается и увлажняется.

Охлажденный раствор основного контура попадает в поддон 8, откуда насосом 10 подается в поверхностный теплообменник 5, а раствор высокой концентрации подается по дополнительному контуру 11 на оросительное устройство 3. Цикл замыкается.

При продолжительной работе рассмотренной системы утилизации будет иметь место изменение концентрации раствора LiCl циркулирующего как в основном, так и в дополнительном контурах. Причем в основном контуре будет происходить постепенное накопление влаги и разбавление раствора хлористого лития. По этой причине возникает необходимость восстановления требуемой концентрации раствора LiCl.

Так как при работе системы утилизации изменение концентрации раствора за один цикл его прохождения по контуру крайне незначительно, наиболее рациональным представляется использование периодической реконцентрации. При этом допустимое изменение концентрации раствора в системе в каком-либо диапазоне определяется областью допустимых параметров приточного воздуха и характеризуется определенным периодом эксплуатации системы в расчетном режиме. Протяженность работы по времени в указанном режиме будет определяться емкостью системы, т. е. количеством LiCl, циркулирующим в контуре. Ее можно выбрать такой, чтобы в определенные периоды суток, например, в нерабочее время, провести восстановление концентрации раствора.

В режиме реконцентрации работа системы представляется следующим образом.

Циркуляция раствора LiCl осуществляется лишь в дополнительном контуре 10 при работающем насосе 12. Посредством закрытия воздушного клапана 18 и открытия клапана 17 в поверхностный орошаемый теплообменник 1 подается наружный воздух, который контактирует с теплым раствором, нагретым в поверхностном теплообменнике 6 вытяжным воздухом, подаваемым в поверхностный орошаемый теплообменник 2 посредством закрытия воздушного клапана 19 и открытия воздушного клапана 20.

Процессы изменения состояний обменивающихся сред в основном режиме работы системы представлены на рис. 4.

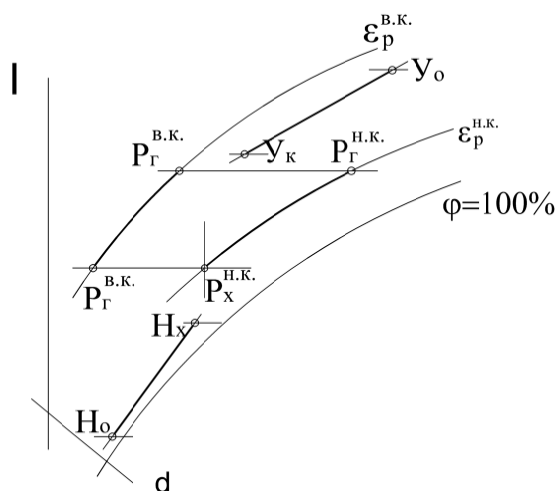


Рис. 4. Изменение параметров контактирующих сред при работе системы утилизации в основном режиме

Вытяжной воздух с параметрами U_0 охлаждается и осушается в поверхностном орошаемом теплообменнике 1 по линии $U_0—U_K$. Изменение параметров раствора в основном контуре происходит по линии $P_X^{H.K.}—P_\Gamma^{H.K.}$, а в дополнительном контуре $P_X^{B.K.}—P_\Gamma^{B.K.}$.

Наружный воздух поступает в поверхностный орошаемый теплообменник 2 с параметрами H_0 , где он нагревается и увлажняется по линии $H_0—H_K$.

При этом, изменение параметров раствора происходит в основном контуре по линии $P_\Gamma^{H.K.}—P_X^{H.K.}$, а в дополнительном — по линии $P_\Gamma^{B.K.}—P_X^{B.K.}$.

Заключение

Использование раствора LiCl позволяет значительно повысить эффективность работы СКВ с утилизацией НП ВЭР. Комплексная обработка приточного воздуха достигается в системе утилизации с орошаемыми поверхностными теплообменниками благодаря более глубокой утилизации теплоты и влаги удаляемого воздуха, достигаемой за счет введения в схему 2 циркуляционных контуров LiCl с различной его концентрацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский В. Н., Поз М. Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М. : Стройиздат, 1983. 320 с.
2. Kojok F., Fardoun F., Younes R., Outbib R. Hybrid cooling systems: a review and an optimized selection scheme // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 65. Pp. 57—80.
3. Ertas E. E. Anderson I. K. Properties of a new liquid desiccant solution-Lithium chloride and calcium chloride mixture // Solar Energy. 1992. Vol. 49. Iss. 3. Pp. 205—212.
4. Niemann P., Schmitz G. Air conditioning system with enthalpy recovery for space heating and air humidification: An experimental and numerical investigation // Energy. 2020. Vol. 213. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118789.
5. Field study on humidification performance of desiccant air-conditioning system combined with a heat pump / K. Kawamoto, W. Cho, H. Kohno, M. Koganei, R. Ooka, S. Kata // Energies. 2016. Vol. 9. Iss. 2. DOI: 10.3390/en9020089.

6. *Гвасалия Т. Г.* Исследование процессов воздушной десорбции в системах кондиционирования воздуха при нагреве растворов хлористого лития низкотемпературной водой: дисс... канд. техн. наук. М. : МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1978. 181 с.
7. Experimental investigation of a liquid desiccant system for air dehumidification working with ionic liquids / M. T. Zegenhagen, C. Ricarta, T. Meyera, R. Kühna, F. Zieglera // *Energy Procedia*. 2015. Vol. 70. Pp. 544—551.
8. *Pandey T., Tejes P. K. S., Naik B. K.* Performance assessment of novel liquid desiccant drying/air conditioning cum desalination system by incorporating M-cycle based dehumidification process // *Desalination*. 2022. Vol. 537. Pp. 115843.
9. *Павлов Н. Н.* Использование раствора хлористого лития в системах кондиционирования воздуха // *Водоснабжение и санитарная техника*. 1970. № 8. С. 19—23.
10. *Богатых С. А.* Осушение воздуха раствором хлористого лития // *Водоснабжение и санитарная техника*. 1965. № 3. С. 4—8.
11. *Maa Zh., Zhang T., Guanb1 B., Liu X.* Effectiveness of temperature and humidity treatment processes: Unified expression and thermodynamic analysis // *Applied Thermal Engineering*. 2023. Vol. 234. Iss. 5. Pp. 121266.
12. *Баркалов Б. В., Карпус Е. Е.* Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М. : Стройиздат, 1982. 312 с.
13. *Gu Y., Zhong K., Cao R., Yang Z.* Aqueous lithium chloride solution as a non-toxic bactericidal and fungicidal disinfectant for air-conditioning systems: Efficacy and mechanism // *Environmental Research*. 2022. Vol. 212. Iss. 1. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113112.
14. *Петров Л. В.* Эффективность применения устройств теплоутилизации в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // *Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. тр. М. : МГСУ, 2003. С. 56—57.*
15. *Гвоздков А. Н., Богословский В. Н.* Процесс теплообмена с позиции теории потенциала влажности // *Водоснабжение и санитарная техника*. 1994. № 3. С. 2—7.
16. *Гвоздков А. Н.* Особенности протекания процессов тепло- и влагообмена в контактных аппаратах систем кондиционирования воздуха // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура*. 2014. Вып. 38(57). С. 133—142.
17. *Русанов А. И.* Поверхностные явления в жидкостях и жидких растворах. Л. : Химия, 1971. 189 с.
18. *Мищенко К. П., Полторацкий Г. М.* Термодинамика и строение водных и неводных растворов электролитов. Л. : Химия, 1976. 328 с.

© Гвоздков А. Н., Сулова О. Ю., Ким А. Ю., 2023

*Поступила в редакцию
в ноябре 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Гвоздков А. Н., Сулова О. Ю., Ким А. Ю. К вопросу использования хлористого лития в системах кондиционирования воздуха с утилизацией низкопотенциальных вторичных энергоресурсов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 5(93). С. 130—139.

Об авторах:

Гвоздков Александр Николаевич — канд. техн. наук., доц., доц. каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57206674119; angvo@mail.ru

Сулова Ольга Юрьевна — инженер, администратор проекта, ООО «Н2 Тех». Российская Федерация, 119180, г. Москва, 2-й Казачий переулок, 4, стр. 1; Scopus ID: 57210027173; oy-sus@mail.ru

Ким Андрей Юрьевич — магистрант каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dc_kim@mail.ru

Alexander N. Gvozdkov^a, Olga Yu. Suslova^b, Andrey Yu. Kim^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *LLC "2 Tech"*

ON THE ISSUE OF THE USE OF LITHIUM CHLORIDE IN AIR CONDITIONING SYSTEMS WITH THE UTILIZATION OF LOW-POTENTIAL SECONDARY ENERGY RESOURCES

The article discusses the features of the use of lithium chloride in solving the issues of improving the efficiency of air treatment in air conditioning systems and utilization of low-potential secondary energy resources (LP SER), in particular heat and moisture of the removed air. The mechanism of heat and moisture exchange processes in the "air — lithium chloride" system is considered. The results of experimental investigation of heat and moisture exchange processes in the form of criterion equations Nu , Nu'_0 between air and lithium chloride are presented, which showed an increase in metabolic processes with an increase in the concentration of the solution of more than 30 %. A two-circuit system of heat and moisture utilization of the removed air is proposed, which makes it possible to increase the efficiency of the disposal system and the HVAC system as a whole.

Key words: lithium chloride, recycling system, SLE, heat and moisture exchange processes, efficiency.

For citation:

Gvozdkov A. N., Suslova O. Yu., Kim A. Yu. [On the issue of the use of lithium chloride in air conditioning systems with the utilization of low-potential secondary energy resources]. *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. 5, pp. 130—139.

About authors:

Alexander N. Gvozdkov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57206674119; angvo@mail.ru

Olga Yu. Suslova — Engineer, project administrator, LLC "2 Tech". 4, 2th Kazachiy lane, Moscow, 119180, Russian Federation. Scopus ID: 57210027173; oy-sus@mail.ru

Andrey Yu. Kim — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dc_kim@mail.ru

УДК 504.064

П. М. Жук

Московский архитектурный институт (Государственная академия) — МАРХИ

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ В ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПО ЖИЗНЕННОМУ ЦИКЛУ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Включение территориальных критериев в оценку жизненного цикла строительных материалов является актуальной задачей как с научной точки зрения, так и в плане совершенствования нормативной базы. Среди территориальных критериев можно выделить оценку пространственных единиц, состояния экосистем и биоиндикационных показателей. В качестве конкретных критериев рассматривались коэффициент нарушенности ландшафтов и такие инженерно-экологические характеристики территории, как индекс экологической емкости и репродуктивная способность по кислороду. В качестве референсного биоиндикационного показателя принимались показатели изменения состояния ткани листьев (рост некрозов и поражения ткани). В работе проведено сопоставление критериев из разных групп для производств разных строительных материалов, а также определен потенциал биоразнообразия для материалов из массивной древесины. Потенциал разнообразия позволил учесть категории, связанные с возрастной структурой леса, разнообразием видов, количеством здоровых деревьев, размерами охраняемых зон и негативными процессами в экосистемах леса (например, пожарами). На основании этих категорий в конкретных локациях рассчитан потенциал биоразнообразия. Полученные данные свидетельствуют о хорошей сопоставимости критериев разных групп и повышении адекватности оценки жизненного цикла в случае их использования. Важное место при изучении территориальных критериев должен занимать их динамический мониторинг, что в дальнейшем позволяет прогнозировать развитие ситуации. Значимую роль в мониторинге территориальных критериев оценки жизненного цикла должны занять средства компьютерной обработки данных о состоянии окружающей среды. Намечены направления развития территориальных критериев для оценки жизненного цикла строительных материалов.

Ключевые слова: территориальные критерии, инженерно-экологические характеристики, оценка воздействий жизненного цикла, оценка биоразнообразия.

Введение

Рост количества объектов недвижимости, прошедших процедуру экологической сертификации, которая требует применения значительного процента сертифицированных строительных материалов, является одним из механизмов реализации государственной политики в области экологического развития, основы которой на период до 2030 г. утверждены Президентом Российской Федерации 30.04.2012 г. Это полностью согласуется с положениями «Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 19.05.2016 г. №868-р. При этом специалисты отмечают, что изменение характера землепользования и потеря биоразнообразия при строительстве промышленных предприятий недостаточно принимаются во внимание в рамках оценки воздействия на окружающую среду по жизненному циклу строительных материалов [1].

Включение критериев биоразнообразия в оценку жизненного цикла продукции является актуальным вопросом современных исследований как на научном уровне, так и на уровне совершенствования нормативно-правовой

базы. В частности, концепция интеграции показателей биоразнообразия в жизненный цикл проработана для биотоплива [2, 3]. Также есть системные исследования по развитию экологических балансов путем интеграции критериев биоразнообразия [4] и защите биоразнообразия в системе управления по международным стандартам ИСО 14000 (система управления качеством окружающей среды) [5].

Критерии оценки территорий в рамках жизненного цикла строительных материалов разрабатываются отечественными и зарубежными специалистами. В частности, предлагается определять коэффициент площадной нарушенности ландшафта, а также комплексный экологический критерий, учитывающий изъятие земель и воздействия на растительный и животный мир [6, 7]. Рассматриваются критерии истощения ресурсов, в т. ч. для тех строительных материалов, которые включают невозобновляемые компоненты или составляющие из ресурсов, добываемых в ограниченном количестве. В этом случае в расчет принимается масштаб использования конкретных ресурсов и возможность их замены на отходы различных отраслей промышленности. Обычно при рассмотрении истощения ресурсов принимают во внимание отдельно биотические (биомасса) и абиотические (минеральные, ископаемые) ресурсы. Для этого отдельно рассчитывают фактор дефицита ресурсов. Для абиотических ресурсов он представляет собой отношение количества используемых ресурсов к объему добываемых резервов. А для биотических ресурсов дополнительно вводят коэффициент, учитывающий разность между использованием и приростом за год. Таким образом можно учесть баланс между добычей и потреблением в случае чрезмерного использования [8].

Отдельными группами критериев, которые активно используют в оценке территорий и конкретных природно-техногенных систем, являются такие важные группы критериев, как инженерно-экологические характеристики территорий и биоиндикационные показатели состояния среды [9—11].

Предметом исследования являются критерии оценки территорий, которые можно включать в оценку жизненного цикла строительных материалов. Такие критерии являются актуальными как с точки зрения проведения научных исследований, так и для последующего включения в нормативные правовые акты. **Цель** такого исследования — изучить пригодность критериев для оценки жизненного цикла строительных материалов, их значимость в общей оценке и применимость на каждом из этапов жизненного цикла. **Задачи** включают адаптацию методик определения критериев под стадии жизненного цикла строительных материалов, сопоставления получаемых результатов для различных групп критериев, изучение корреляции полученных данных с имеющимися критериями (например, для оценки глобальных воздействий). Такие показатели можно включать в системы оценки жизненного цикла на уровне экологических деклараций продукции, осуществлять анализ наилучших доступных технологий, что повысит адекватность оценки экологической безопасности по жизненному циклу строительных материалов.

Материалы и методы

При оценке территории могут использоваться методы, в большей или меньшей степени позволяющие рассмотреть состояние биоты. Масштабы и границы рассмотрения территорий также могут сильно различаться в зависимости от целей конкретного исследования. Автоматически при анализе

жизненного цикла строительных материалов в зону интересов попадают территории, связанные с основными этапами жизненного цикла (добыча сырья, производство, эксплуатация, завершение жизненного цикла различными способами — от переработки до захоронения на полигонах). В связи с наличием антропогенных объектов на территориях все они, как правило, попадают в категорию природно-техногенных систем. При этом важным аспектом является выделение загрязнений, привносимых в среду объектами, связанными с жизненным циклом конкретного материала, и никак не связанными с ним источниками. Одна из возможных классификаций методов оценки территорий, на которых расположены объекты промышленности строительных материалов, или иные объекты, связанные с их жизненным циклом, по степени рассмотрения биоты приведена на рис. 1. Проанализируем некоторые из методов, представленные на схеме (см. рис. 1).



Рис. 1. Методы оценки территорий, на которых расположены объекты, связанные с жизненным циклом строительных материалов

Оценка экологической безопасности природно-техногенных систем может производиться при помощи такого критерия, как коэффициент площади нарушенности ландшафта, определяемый как соотношение суммарной площади природно-техногенной системы и площади участка, на котором происходит разработка (например, карьера), к общей площади природного ландшафта [6]. При этом вводятся показатели этого соотношения, позволяющие прогнозировать состояние природной среды. Считается, что при коэффициенте нарушенности ландшафта менее 0,3 сохраняется функционирование отрицательных обратных связей, являющихся основой гомеостаза. При

этом в диапазоне от 0,3 до 0,5 динамическое равновесие природных ландшафтов и природно-техногенных систем может быть нарушено, а при больших значениях существует опасность нарушения процессов саморегулирования экосистем [6]. Преимуществом такого показателя является простота расчета — важно лишь грамотно вычленить площади с техногенными изменениями и рассчитать соотношение. Некоторым недостатком представляется ограниченная возможность использования на всех этапах жизненного цикла строительных материалов.

При оценке инженерно-экологических характеристик территорий в целях оценки этапов жизненного цикла строительных материалов имеет смысл выделять экологическую емкость и репродуктивную способность. По репродуктивной способности особого разнообразия в трактовках методов определения не наблюдается. Чаще всего рассчитывают индекс репродукции (отношение потребляемого ресурса к его общему воспроизводству в природной среде) по отдельным компонентам (атмосферный воздух, водные ресурсы, флора и фауна). В понятии экологической емкости возникли сразу несколько направлений и методик ее расчета [9, 12, 13]. Основными из этих направлений являются подход, связанный с оценкой биопродуктивности, биомассы и в целом биотической составляющей территории, и методика оценки техногенной нагрузки на территорию в целом через загрязнения различной природы (физические, химические и др.) или через энергопотребление. Первый подход (определение экологической емкости) хорошо сопоставим с биоиндикационными показателями, а второй (определение техноемкости) вполне может описываться через показатели, подобные нарушенности ландшафта, описанной выше. В частности, при анализе биопродуктивности биоценозов территории учитывается состав представителей животного мира (индексы биоразнообразия) [14]. В то же время при расчете техноемкости может приниматься во внимание не только соотношение измененных и неизмененных площадей, но и баланс энергозатрат, единиц активности и иные показатели.

Систематизация методов определения территориальных критериев и характеристика их пригодности для включения в жизненный цикл строительных материалов приведена в табл. 1.

Из таблицы 1 видно, что рассмотрение некоторых показателей уместно в комплексе. Например, биоиндикация, а именно индексы биоразнообразия, могут подтверждать динамическое равновесие экосистем или структуру биологического сообщества при определении нарушенности ландшафтов или инженерно-экологических характеристик. В целом все методы можно разделить на расчет по абиотическим показателям и учет биотической составляющей. Как правило, они должны сопровождать друг друга в целях более адекватных результатов. При этом в случае сравнения методов могут использоваться методы ранговой корреляции или методы теории рисков для расчета весомости (значимости) каждого из показателей. При ранговой корреляции вычисляют коэффициенты Спирмена или Кендалла. В случае расчета рисков важно принимать во внимание как вероятность потери структурных или функциональных свойств экосистем или реципиентов (например, видов или сообществ-биоиндикаторов), так и величину возможного ущерба от наступления такого негативного события.

Т а б л и ц а 1

Характеристики применимости методов оценки территориальных критериев в жизненном цикле строительных материалов

Методы		Особенности определения	Пригодность для включения в оценку жизненного цикла строительных материалов
Группа	Подгруппа		
Оценка пространственных единиц	Расчет коэффициента нарушенности ландшафтов	Определяется как соотношение суммы площадей ПТС и площади разработки к площади неизменного природного ландшафта	Хорошо применим для этапа добычи сырья. В случае природных каменных материалов может использоваться как основной показатель
	Определение экологической техноёмкости	Определяется как максимальная техногенная нагрузка, при которой сохраняется динамическое равновесие биогеоценозов на рассматриваемой территории	Показатели в большей степени характеризуют среду на уровне градостроительства. Могут возникать проблемы при необходимости выделения вклада конкретного предприятия, находящегося в промышленной зоне
	Определение экологической ёмкости	Рассчитывается биопродуктивность био-, агро- и урбоценозов территории с учетом представителей состава животного мира, которые в свою очередь оцениваются с помощью индексов биоразнообразия (индексы Симпсона, Шеннона и др.)	
Оценка биоиндикационных показателей	Индексы биоразнообразия		Применяются для характеристики динамического равновесия связанных с жизненным циклом строительных материалов природно-техногенных систем
	Отдельные показатели состояния биоты (например, фитоценоза)	Выявление набора растений, выступающих биоиндикаторами, и биоиндикаторных сообществ с учетом природных условий, определение зон воздействия предприятий; изучение процента некрозов и площади пораженной ткани, влажности листьев; количество оседающей на листьях пыли	Апробированы на целом ряде предприятий производства разных строительных материалов. Применение на отличных от производственного этапах жизненного цикла осложнено

Следует также учитывать, что исследование и определение территориальных критериев регулярно производится на предприятиях различных строительных материалов. Например, работа с видами-биоиндикаторами и выявление сообществ биоиндикаторов проведено на предприятиях черной металлургии европейской части России [15]. Исследование древесно-кустарниковой растительности и изменения индекса Симпсона проводилось в зоне расположения керамического производства в Воронежской области [16]. Экологическая емкость, репродуктивная способность, а также комплекс характеристик загрязнения геосфер исследованы для предприятий различных теплоизоляционных материалов [11, 17, 18].

Результаты

Экологическая емкость, представляющая собой показатели биопродуктивности биогеоценозов рассматриваемой территории с учетом оптимального состава представителей животного мира, рассчитывается для различных жизненных форм растительности лесного типа. В частности, для травянистого покрова учитывается количество проб, биомасса каждой пробы в граммах и период вегетации на момент отбора проб. Для древесно-кустарниковой растительности также учитывается биомасса растений, максимальная биомасса рассматриваемого вида (связана с видом его гибридной спецификации), вегетативный период этого вида и масса эмпирических коэффициентов. Иногда показатели для травянистой и древесно-кустарниковой растительности сложно сравнивать ввиду различного характера рассматриваемых биогеоценозов на данной территории. Поэтому распространено определение не самих натуральных показателей экологической емкости, а индекса экологической емкости в баллах, подобный подход применялся и в настоящем исследовании. При этом, чем ближе показатель индекса экологической емкости к 3, тем менее разрушены параметры функционирования экосистем территории.

В таблице 2 рассматривались производственные предприятия, которые расположены преимущественно отдельно от предприятий других отраслей, что позволяет предполагать воздействия на окружающую среду только от рассматриваемых объектов. При рассмотрении предприятий учитывались региональная специфика (климатические, географические и иные особенности) и масштаб производств. В частности, производство керамической плитки небольшой производительности, а завод керамического кирпича крупный, что видно по показателям оценки. Кроме того, предприятие по производству керамической плитки изначально располагается на территории с большой степенью озеленения. Из приведенных в табл. 2 данных прослеживается неплохая корреляция показателей по нагрузкам на геосферы (нарушенность ландшафтов) и биоту, что подтверждает адекватность использования тех и иных показателей. В частности, коэффициент нарушения ландшафтов можно применять не только на этапе добычи сырья, но и для оценки производств, рассматривая территорию предприятия как составляющую природно-техногенной системы.

Если принять максимальным показатель биоразнообразия в 1 универсальную единицу биоразнообразия на 1 м^2 за год, то надо принимать во внимание региональные параметры биоразнообразия и определять его в каждый момент времени t по формуле Яна Пауля Линднера, представленной им в Институте строительной физики Фраунгофера:

$$\Delta Q_m(t) = Q_{\text{рег}} - Q_m(t) = R_m(1 - \mu_m(t)). \quad (1)$$

Далее обычно проводится интеграция показателя по времени в зависимости от площади и качественной разницы данных. Таким образом получается интегральный показатель биоразнообразия, который определяется в универсальных единицах биоразнообразия на 1 м² за год. В таблице 3 приведен пример определения потенциала биоразнообразия с учетом критериев для функционирования леса. Пример рассматривает использование материалов из массивной древесины без учета процессов ее заводской обработки.

Таблица 2

Сравнительные показатели инженерно-экологических характеристик территории и коэффициента нарушенности ландшафтов для предприятий промышленности строительных материалов

Наименование материалов	Рост некрозов, % / рост поражений ткани листьев, кол-во раз	Коэффициент нарушенности ландшафта	Индекс экологической емкости территории	Репродуктивная способность территории по кислороду
Теплоизоляционные плиты из пенополиуретана	45 / 3,8	0,39	1,8	0,72
Теплоизоляционные плиты из пенополистирола	47 / 4,2	0,42	1,6	0,73
Керамический кирпич	40 / 3	0,35	2,5	0,83
Керамическая плитка	20 / 2,2	0,3	2,2	0,81
Оконное стекло	18 / 1,3	0,32	2,4	0,82
Теплоизоляционные плиты из льна с армированием	—	0,28	2,9	0,88

Таблица 3

Результаты оценки показателей оценки биоразнообразия при использовании материалов из массивной древесины в строительстве

Критерии	Сценарий 1	Сценарий 2
Возрастная структура леса	15 % (3 %)	90 % (18 %)
Разнообразие видов	85,5 % (17,1 %)	90 % (18 %)
Количество здоровых деревьев	66 % (33 %)	98 % (19,6 %)
Охраняемые зоны	45 % (9 %)	86 % (28,7 %)
Помехи (в т. ч. пожары)	22,5 % (2,3 %)	60 % (6 %)
Потенциал биоразнообразия	0,644	0,903

Сценарий 1 предусматривает добычу массивной древесины в европейской части России, а сценарий 2 рассматривает таежную зону с закономерно более высоким потенциалом биоразнообразия. Полученные результаты показывают влияние экологического преимущества экосистем Сибири для производства строительных материалов из массивной древесины.

Подобные методы учета биоразнообразия должны включаться в нормативные правовые акты и стандарты по оценке жизненного цикла строительных материалов. Осложняется интеграция таких показателей в стандарты в связи с тем, что отсутствует глобальное и универсальное определение биологического разнообразия. Подход к унификации требований может включать конвенции по биологическому разнообразию, учет различий в оценке состояния экосистем, службы и сервисы по оценке экосистем, экономику экосистем и биологического разнообразия. Также осложняет ситуацию отсутствие рекомендаций по поиску компромиссов между целями. В частности, малое количество редких видов и множество распространенных в большом количестве ареалов видов, взаимодействия внутри экосистем, монетизация позитивных для природной среды эффектов. По мнению экспертов [19, 20] необходимо сочетание существующих методов и оригинального их развития на основе понимания, что биологическое разнообразие имеет локальное строение, но глобальный вес. Также должны вовлекаться в процесс оценки биоразнообразия важнейшие игроки, основывающиеся на нормативной базе (законы, стратегические документы, локальные нормативные акты). Сложностью помимо конкретных критериев, их методов определения и единиц измерения, признанных на международном уровне, является и то, что согласно международным стандартам эти показатели должны оцениваться по всему жизненному циклу и относиться к функциональной единице конкретного строительного материала.

Выводы

К выводам по вопросу территориальных критериев оценки воздействий жизненного цикла стоит отнести следующие тезисы.

В целях оценки природно-техногенных систем лучше использовать специализированные критерии, а не просто критерии биологического разнообразия. Критерии биоразнообразия должны пройти адаптацию для внедрения в оценку жизненного цикла.

При этом все территориальные критерии могут быть поделены на позволяющие оценивать абиотическую составляющую и позволяющие оценивать биотическую составляющую на рассматриваемой территории. При этом выделение вклада конкретного производства строительного материала часто затруднительно, так как и иные предприятия вносят свой вклад в воздействия. Для этого могут использоваться сведения о вредных выбросах и энергозатратах каждого из предприятий, а в качестве математического аппарата — теория рисков или ранговая корреляция.

Установлена и обоснована необходимость учета критериев оценки биоразнообразия при использовании территориальных критериев по оценке природно-техногенных систем.

Важное место при изучении территориальных критериев должен занимать динамический мониторинг критериев, что позволяет прогнозировать развитие ситуации.

Значимую роль в определении и мониторинге территориальных критериев оценки жизненного цикла должны занять технические средства и средства компьютерной обработки данных о состоянии окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Holzer P.* Building Related Environmental Impacts — the Hidden Aspects // Sustainable Built Environment D-A-CH Conference. 2019. Pp. 27—28. DOI: 10.3217/978-3-85125-690-1.
2. Spatially differentiated examination of Biodiversity in LCA (Life Cycle Assessment) on national scale exemplified by biofuels / B. Urban, C. Von Haaren, H. Kanning, J. Krahl, A. Munack // *Landbauforschung Volkenrode*. 2012. No. 62 (3).
3. *Styles D., Gibbons J. M., Prysor W. A., Dauber J.* Consequential life cycle assessment of biogas, biofuel and biomass energy options within an arable crop rotation // *GCB Bioenergy*. 2015. No. 7(6). DOI: 10.1111/gcbb.12246.
4. *Lindner J. P., Eberle U., Schmincke E., Luick R. U. A.* Biodiversität in Ökobilanzen. Abschlussbericht des F+E-Vorhabens „Weiterentwicklung der Ökobilanzen durch Integration der Biodiversitätsauswirkungen von Produkten“ (FKZ 3511 82 3100). Bundesamt für Naturschutz. Bonn — Bad Godesberg. 2019. P. 242. DOI: 10.19217/skr528.
5. EMAS und Biodiversität. Leitfaden 2023 — Schutz der biologischen Vielfalt im Rahmen von Umweltmanagementsystemen / M. Hammerl, M. Scholz, S. Schulz, L. Lösing, L. Klute, S. Hörmann. Bodensee-Stiftung, GNF, 2023. P. 91.
6. *Графкина М. В., Свиридова Е. Ю., Сдобнякова Е. Е.* Новые подходы к оценке экологических показателей строительных материалов // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2016. № 9. С. 15—21.
7. *Графкина М. В., Сдобнякова Е. Е.* Сравнение проектных вариантов по комплексному экологическому критерию // *Научные труды КубГТУ*. 2016. № 6. С. 196—202.
8. *Mötzl H., Zelger T.* Ökologie der Dämmstoffe. Grundlagen der Wärmedämmung. Lebenszyklusanalyse von Wärmedämmstoffen. Optimale Dämmstandards. Wien, Springer—Verlag, 2000. Pp. 195.
9. *Копылов И. С., Красильников П. А., Клецкина О. В.* Экологическая емкость территории: история изучения, обзор методов определения // *Экология и промышленность России*. 2023. Т. 27. № 2. С. 42—47. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-2-42-47.
10. *Жук П. М., Лаврусевич А. А.* Геоэкологические аспекты анализа жизненного цикла строительных материалов // *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2020. № 3. С. 99—111. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.03.09.
11. *Жук П. М., Лаврусевич А. А.* Современные подходы к определению экологической емкости территорий для оценки строительной продукции // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2020. №1. С. 47—51. DOI: 10.31857/S0869780920010238.
12. *Мусихина Е. А., Айзенберг И. И., Михайлова О. С.* Пространственно-временной метод оценки экологической емкости территорий // *Системы. Методы. Технологии*. Братский государственный университет. 2014. № 2(22). С. 175—178.
13. *Zhang Y., Fan J., Wang S.* Assessment of Ecological Carrying Capacity and Ecological Security in China's Typical Eco-Engineering Areas // *Sustainability*. 2020. No. 12(9). 3923. DOI: 10.3390/su12093923.
14. *Шутиков В. К., Розенберг Г. С.* Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // *Структурный анализ экологических систем. Количественные методы экологии и гидробиологии: сборник научных трудов, посвященный памяти А. И. Баканова*. Тольятти : СамНЦ РАН, 2005. С. 91—129.
15. *Груздев В. С.* Биоиндикация состояния окружающей среды. Серия : Научная мысль. М.: ИНФРА-М, 2018. 160 с. DOI: 10.12737/monography_5abf02e2738690.08466285.
16. *Прожорина Т. И., Терещенко О. Н.* Экологическая оценка состояния воздушной среды в зоне предприятия ЗАО ПКФ «Воронежский керамический завод» биоиндикационными методами // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия : Химия. Биология. Фармация. 2004. № 2. С. 142—146.
17. *Пудовкина А. Ю., Вигдорович В. И.* Влияние состояния атмосферы на здоровье населения Тамбовской области и некоторые пути борьбы с загрязнением окружающей среды // *Вопросы современной науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. 2012. Специальный выпуск (43). С. 7—14.

18. Zhukov A. D., Zhuk P. M., Stepina I. V. Assessment of the environmental impact on the life cycle of polystyrene thermal insulation materials // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2388. 012101. DOI: 10.1088/1742-6596/2388/1/012101.

19. Lindner J. P. Quantitative Darstellung der Wirkungen landnutzender Prozesse auf die Biodiversität in Ökobilanzen. Stuttgart, Fraunhofer IBP, 2015. Pp. 166.

20. Kramer M. Praxisleitfaden für das Management von Biodiversität und Ökosystemleistungen in KMU und regionalen Wertschöpfungsketten. Zittau, LaNU, 2017. P. 32.

© Жук П. М., 2023

Поступила в редакцию
в декабре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Жук П. М. Территориальные критерии в оценке воздействий на окружающую среду по жизненному циклу строительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 140—149.

Об авторе:

Жук Петр Михайлович — д-р техн. наук, доц., декан фак-та бакалавриата, Московский архитектурный институт (государственная академия) — МАРХИ. Российская Федерация, 107031, г. Москва, ул. Рождественка, 11/4, корп. 1, стр. 4; peter_05@bk.ru

Petr M. Zhuk

Moscow Institute of Architecture (State Academy) — MARKHI

TERRITORIAL CRITERIA IN ASSESSING ENVIRONMENTAL IMPACTS ACCORDING TO THE LIFE CYCLE OF BUILDING MATERIALS

The inclusion of territorial criteria in the life cycle assessment of building materials is an urgent task both from a scientific point of view and in terms of improving the regulatory framework. Among the territorial criteria, one can highlight the assessment of spatial units, the state of ecosystems and bioindicative indicators. The coefficient of landscape disturbance and such engineering and environmental characteristics of the territory as the ecological capacity index and reproductive capacity for oxygen were considered as specific criteria. Indicators of changes in the condition of leaf tissue (increase in necrosis and tissue damage) were taken as a reference bioindicative indicator. The work compared criteria from different groups for the production of different building materials, and also determined the biodiversity potential for solid wood materials. Diversity potential allowed us to take into account categories related to forest age structure, species diversity, number of healthy trees, size of protected areas, and negative processes in forest ecosystems (for example, fires). Based on these categories, the biodiversity potential of specific locations was calculated. The data obtained indicate good comparability of the criteria of different groups and an increase in the adequacy of life cycle assessment if they are used. An important place in the study of territorial criteria should be occupied by their dynamic monitoring, which in the future makes it possible to predict the development of the situation. Computer processing of data on the state of the environment should play a significant role in monitoring territorial life cycle assessment criteria. Directions for the development of territorial criteria for assessing the life cycle of building materials are outlined.

Key words: territorial criteria, engineering and environmental characteristics, life cycle impact assessment, biodiversity assessment.

For citation:

Zhuk P. M. [Territorial criteria in assessing environmental impacts according to the life cycle of building materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 140—149.

About author:

Petr M. Zhuk — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Moscow Institute of Architecture (State Academy) — MARKHI. 11/4, Rozhdestvenka st., Moscow, 107031, Russian Federation; peter_05@bk.ru

УДК 504.054

Ю. В. Копец

Луганский государственный университет им. В. Даля

СПОСОБЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНЕ

Проанализированы существующие направления обращения с твердыми коммунальными отходами. Сформированы 3 главных способа, которые могут использоваться как модели обращения с твердыми коммунальными отходами на Луганщине — отдельный сбор, использование сортировочных комплексов и термическая обработка. Рассмотрены преимущества и недостатки этих способов в контексте возможности внедрения, а также с точки зрения экологичности, финансовой целесообразности и ресурсосбережения. Приоритетным, по мнению автора, должно стать введение системы отдельного сбора твердых коммунальных отходов с последующей утилизацией отобранного вторичного сырья методом пиролиза.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, отдельный сбор, сортировка, термическая обработка отходов, полигон.

Самым распространенным на данный момент способом обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является их захоронение на специально отведенных полигонах и мусорных свалках. Однако на современном этапе такая форма обращения с отходами становится неприемлемой — как с экологической точки зрения (в первую очередь), так и с точки зрения ресурсного потенциала. Полигоны рассчитаны на определенный срок эксплуатации или определенный предельный объем накопления отходов, которые, как правило, небольшие. В этом отношении уже практически исчерпаны ресурсы для дальнейшего захоронения отходов, а состояние полигонов ТКО не отвечает экологическим требованиям [1].

Негативное экологическое воздействие полигонов заключается в том, что при ненадлежащих условиях захоронения (что характерно для многих городов) токсичные вещества с высокой вероятностью попадают в грунт, загрязняя его и включаясь в естественные круговороты, проникают в подземные и грунтовые воды, создавая значительную опасность для потребителей питьевой воды. Кроме того, независимо от условий захоронения на полигонах, часто происходит самовозгорание отходов, среди которых много органических и легковоспламеняющихся веществ. Это вызывает загрязнение воздуха вредными продуктами горения, такими как угарный газ, оксиды азота, диоксины, фураны и т. д. В последнее время поднимается вопрос поступления в воздух парниковых газов вследствие разложения ТКО на мусорных свалках, что оказывает влияние на глобальные процессы изменения климата [2, 3].

Помимо негативного экологического воздействия, отходы могут приносить и пользу, являясь как источником энергии, так и источником ценных ресурсов, которые можно повторно использовать. Таким образом, накопление отходов без дальнейшего их использования экономически невыгодно [4—6]. Все вышеприведенное свидетельствует о том, что захоронение ТКО на полигонах и свалках должно остаться в прошлом.

Существующие направления обращения с ТКО

На сегодня в мире наиболее экологически приемлемыми можно назвать следующие сценарии обращения с ТКО:

1. Смешанные отходы отправляются на сортировочный участок, где полезные материалы отделяются, а все остальные сжигаются;
2. Смешанные отходы отправляются на установку для получения RDF топлива из отходов (refuse derived fuel — топливо, полученное из отходов). При этом отделяются горючие отходы, все остальные (кроме металлов) подлежат захоронению на полигоне ТКО;
3. Отдельный сбор отходов, которые могут быть переработаны (с последующей отправкой их на сортировочный участок), и всех других отходов, которые отправляются на полигон;
4. Отдельный сбор отходов, которые могут быть переработаны (с последующим отправкой их на сортировочный участок), и всех других отходов, которые отправляются на мусоросжигательный завод;
5. Отдельный сбор отходов, которые могут быть переработаны (с последующей отправкой их на сортировочный участок), и всех других отходов, из которых получают RDF топливо и/или компост (биогаз);
6. Отдельный сбор отходов, которые могут быть переработаны (с последующей отправкой их на сортировочный участок), «садовых» отходов (для получения компоста) и других отходов, вывозимых на полигон;
7. Отдельный сбор отходов, которые могут быть переработаны (с последующей отправкой их на сортировочный участок), «садовых» отходов (для получения компоста) и других отходов, отправляемых на мусоросжигательный завод;
8. Раздельный сбор различных фракций ТКО с целью их дальнейшей утилизации.

Согласно местным реалиям и возможностям из предложенных сценариев можно обобщить три ключевых направления решения проблемы ТКО.

Первый:

- разработка и внедрение экономических рычагов, направленных на вытеснение многоотходных технологий;
- налогообложение ресурсоемкой продукции и процессов;
- внедрение механизмов стимулирования инновационной деятельности по развитию малоотходных, безотходных, ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий.

По этому пути предусматриваются как меры, которые уменьшают общие объемы образования отходов, так и меры, уменьшающие содержание опасных веществ в отходах [7, 8].

Второй:

- создание мощностей по обезвреживанию и уничтожению наиболее опасных категорий отходов;
- усиление контроля и ограничение использования в производственных процессах опасных веществ, которые могут попадать в отходы;
- налаживание мониторинга по потокам отходов на базе соответствующего информационного обеспечения;
- установление требований и правил размещения (хранения) отходов по категориям опасности и разработка методологии оценки риска для окружающей среды и здоровья людей;
- разработка методики и порядка реабилитации загрязненных территорий [9, 10].

Третий — создание систем заготовки и утилизации отдельных категорий наиболее ресурсоценных отходов, в частности упаковочных материалов и тары, бумаги, изношенных шин и резиновых отходов, транспортных средств, электрического и электронного оборудования, батарей и аккумуляторов [11—13].

Первый путь является длительным, но он направлен на решение проблемы ТКО из-за устранения ее причин. Другие два пути потенциально более привлекательны во временном аспекте, однако направлены на ликвидацию последствий нерешенности проблемы ТКО. Таким образом, в идеальном варианте целесообразно эффективное сочетание вышеуказанных путей.

Кроме того, следует учесть достаточно сложное экономическое положение Луганской Республики, относительно низкий уровень и значительную сложность внедрения новейших мало- и безотходных технологий. Поэтому на данном этапе наиболее реально использование второго и третьего путей решения проблемы ТКО (скорее всего, третий путь должен быть основным, учитывая приоритетность возможности получить доходы для слабой экономической системы). Они могут быть реализованы соответственно посредством использования высокотемпературного пиролиза, а также внедрения эффективной системы раздельного сбора отходов и использования мусоросортировочных комплексов.

Выводы

Каждый из предложенных способов обращения с ТКО имеет разное соотношение необходимой умственной и физической работы и, таким образом, предполагает разную степень участия образователя отходов. Кроме того, каждый способ имеет разные капитальные и эксплуатационные расходы, требующие разного уровня финансовых обязательств и населения, и местных властей. Наконец, каждый вариант предполагает получение материалов разного состава и качества, влияющего на рынок вторичного сырья. Выбор модели обращения с ТКО зависит от наличия и полноты законодательства в этой сфере, а также от принадлежности органов контроля за его исполнением. На выбор способа в значительной степени могут влиять методы стимулирования населения, его готовности подстраиваться под выбранную модель обращения с отходами.

Одной из главных задач при создании целостной системы поведения с отходами является снижение риска для здоровья людей и загрязнения окружающей среды.

Поэтому при выборе способа удаления, переработки, утилизации и обезвреживания отходов обязательно должны быть определены возможные отрицательные последствия. Приоритетными методами являются ликвидирующие негативные последствия или хотя бы позволяющие их минимизировать [14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дрозд Г. Я. Развитие сектора обращения с твердыми бытовыми отходами на Луганщине — настоятельная необходимость // Сб. науч. тр. Донбасского государственного технического университета. Алчевск : ДонГТУ, 2017. С. 16—28.
2. Коростелева Н. В., Лепехина С. А. Обращение с твердыми коммунальными отходами: существующие проблемы и пути решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 97—108.

3. Чеснокова О. Г., Антонова Н. Н., Чеснокова В. Д., Журбенко М. Д. Архитектурные предложения по благоустройству городских площадок для утилизации бытовых отходов населения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 291—300.
4. Jordan A., Akay G. Occurrence, composition and dew point of tars produced during gasification of fuel cane bagasse in a downdraft gasifier // Biomass and bioenergy. 2012. Vol. 42. Pp. 51—58.
5. Royte E. Garbage Land: On the Secret Trail of Trash. NY and Boston : Little, Brown and Company, 2005. 311 p.
6. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China / J. Dong, Y. Tang, A. Nzihou, Y. Chi, E. Weiss-Hortala, M. Ni, Z. Zhou // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 203. Pp. 287—300.
7. Конец Ю. В. Нормативно-правовая база управления отходами в Луганской Народной Республике // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г : Технические науки. 2022. Вып. 2. С. 92—96.
8. Конец Ю. В. Программно-целевой подход к управлению отходами // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2021. Вып. 3(149). С. 31—34.
9. Классификация отходов и технологии их обезвреживания / М. Ф. Бирюков, Н. В. Бирюков, А. В. Костин, Л. В. Мосталыгина, А. Г. Мосталыгин, К. П. Двухватская, Л. А. Кискина // Вестник КГУ, 2012. Вып. 3. С.88—92.
10. Юльметова Р. Ф., Сергиенко О. И. Теория и практика обращения с отходами: учеб.-метод. пособие. СПб : УИТМО, 2022. 118 с.
11. Costner P., Thornton J. Playing with fire. Hazardous waste incineration. Greenpeace Report, 1999. 48 p.
12. 2011c. Influence of time and temperature on pyrolysis of plastic wastes in a semi-batch reactor / A. Lopez, D. Marco, B. M. Caballero, M. F. Laresgoiti, A. Adrados // Chemical Engineering Journal. 2011. Vol. 173. P. 62—71.
13. Клинков А. С., Беляев П. С. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов. Тамбов : ТГТУ, 2010. 100 с.
14. Лобачев Г. К., Желтобрюхов В. Ф. Вторичные ресурсы: проблемы, перспективы, технология, экономика: учеб. пособие. Волгоград, 1999. 180 с.

© Конец Ю. В., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Конец Ю. В. Способы обращения с твердыми коммунальными отходами на Луганщине // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 150—154.

Об авторе:

Конец Юрий Витальевич — старший преподаватель каф. промышленного, гражданского строительства и архитектуры, Луганский государственный университет им. В. Даля. Российская Федерация, г. Луганск; Yura_87-87@mail.ru

Iurii V. Kopets

Lugansk State University named after V. Dahl

WAYS OF MANAGEMENT OF SOLID MUNICIPAL WASTE IN THE LUHANSK REGION

The article analyzes the existing areas of municipal solid waste management. Of these, 3 main methods have been formed that can be used as models for handling municipal solid waste in the Luhansk region — separate collection, the use of sorting complexes and heat treatment. The advantages and disadvantages of these methods are considered in the context of the possibility of implementation, as well as from the point of view of environmental friendliness, financial feasibility and resource saving. As a result, the priority, according to the author, should be the introduction of a system for the

separate collection of municipal solid waste with the subsequent disposal of selected secondary raw materials by pyrolysis.

Key words: municipal solid waste, separate collection, sorting, heat treatment of waste, landfill.

For citation:

Kopets Iu. V. [Ways of management of solid municipal waste in the Luhansk 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. 5, pp. 150—154.

About author:

Iurii V. Kopets — Senior Lecturer of the Department of Industrial, Civil Engineering and Architecture, Lugansk State University named after V. Dahl. Russian Federation, Lugansk; Yura_87-87@mail.ru

УДК 711.4-112

В. В. Прокопенко

Волгоградский государственный технический университет

ОСНОВНЫЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗЕЛЕННОГО КАРКАСА КРУПНЕЙШЕГО ГОРОДА

Исследование посвящено выбору методик, с помощью которых можно установить устойчивость зеленого каркаса города, определить значение показателя устойчивости зеленого каркаса и его влияние на качество городской среды. Представленное исследование продолжает авторскую работу «Совершенствование методов оценки показателя комфортности объектов общего пользования системы озеленения крупнейших городов (на примере г. Волгограда)»

К л ю ч е в ы е с л о в а: зеленый каркас города, устойчивость системы.

Концепция формирования устойчивого зеленого каркаса (ЗК) должна быть частью пространственного развития крупнейшего города, в основе которой лежит стратегия интеграции природных элементов в ткань города. Ключевым аспектом ЗК города является устойчивая зеленая инфраструктура, которая способствует минимизации антропогенного негативного воздействия на городскую среду. Поэтому необходимо понимать, как ЗК влияет на качество городской среды. Это влияние можно оценить с помощью предложенного алгоритма методик, который исходит из выполнения двух основных задач [1].

Первая задача — определение степени влияния ЗК на качество городской среды, которое выполняется расчетными и графическими методами.

Вторая задача — определение влияния городской среды на устойчивость ЗК города, которое производится методами математической статистики.

Решение поставленных задач позволяет определить значение устойчивости ЗК крупнейшего города [2—9].

1. Определение степени влияния ЗК на качество городской среды

Метод расчета фактической площади ЗК и его влияния на качество городской среды

Целями предложенной методики являются:

- 1) выявление действительной площади ЗК города;
- 2) определение равномерности распределения и разрывов между объектами и элементами ЗК города в структуре градостроительной системы;
- 3) определение границы влияния ЗК на городскую среду по трем зонам:
Зона 1. Полоса наиболее активного воздухообмена (оздоровительная).
Зона 2. Пешеходная доступность до объектов и элементов ЗК.
Зона 3. Зрительная взаимосвязь ЗК с прилегающей жилой застройкой (эстетическая).

Определение баланса территории района по трем благотворным зонам означает определение количества жителей административного района, проживающих в условиях благотворного влияния объектов и элементов ЗК, а также количества жителей, проживающих в отсутствие влияния объектов и элементов ЗК на прилегающую территорию.

Достижение целей возможно на основании проведения двух расчетов:

- 1) геометрического, с использованием математических алгоритмов;
- 2) графоаналитического.

Конфигурации объектов и элементов ЗК на плоскости территории имеют сложную геометрическую форму и различные площади.

Результатом применения данной методики является определение площади ЗК города. В алгоритме построения клеточной функции показателя экологического состояния степени озеленения территории (рис. 1) использованы разработки профессора В. Н. Луканина [10].

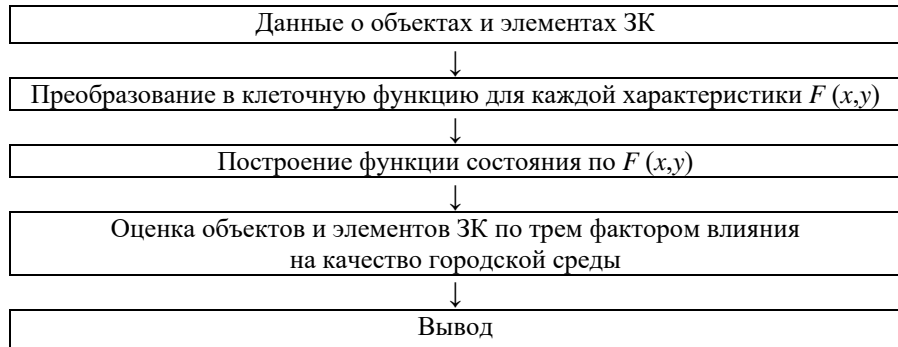


Рис. 1. Блок-схема алгоритма построения клеточной функции

Необходимо наложить на административный район сетку квадратов Δ с шагом 250 м и на основе данных о площадях объектов и элементов ЗК оценить степень озеленения в каждом квадрате разбиения Δ .

Вводится вектор $\vec{g} = (g_1, \dots, g_n)$, каждая координата g_i которого равна площади озелененной территории i -го номера.

Строится отображение множества клеток разбиения в пространство R^i , так что:

$$\Phi: \delta_{ij} \rightarrow \vec{s}(i, j) = s_1, s_2, \dots, s_i, \quad (1)$$

где s_k — доля площади квадрата δ_{ij} , попавшая в РТ номера К.

Затем вычисляется:

$$\vec{h} = (h_1, \dots, h_i), h_k = K(i, j), 1 \leq K \leq 6. \quad (2)$$

Находится площадь одной доли в каждом столбце, для этого делятся координаты вектора \vec{g} на соответствующие координаты \vec{h} :

$$\vec{p} = (p_1, \dots, p_6), p_i. \quad (3)$$

Затем умножается скалярно каждый вектор $s(i, j)$, соответствующий распределению площади i, j квадрата сетки, на вектор \vec{p} . Результатом является фактическая площадь озеленения объекта или элемента ЗК города.

По клеточной функции озеленения наглядно прослеживаются пустые клетки территории административных районов, в которых полностью или частично отсутствует благотворное влияние ЗК на городскую среду. Метод позволяет определить уровень озелененности на всей территории города.

При определении границы влияния объектов ЗК на качество городской среды по трем зонам за основу принимаются исследования В. В. Владимировича [11]. Согласно [11] полоса наиболее активного воздухообмена принята в размере 250 м. Пешеходная доступность объекта или элемента ЗК или радиус доступности принимаются равными нормативному значению 750 м. Зрительная взаимосвязь зеленого массива с прилегающей застройкой — 500 м. Данные зоны включаются в клеточный анализ территории, что позволит графически определить баланс территории по трем зонам. Расчет производится по формулам (1—3) для каждой зоны. Определяется количество жителей, проживающих в той или иной зоне.

Метод расчета выделения кислорода растительностью ЗК

Объекты и элементы ЗК несут в себе функции не только рекреационного досуга, но и функции оздоровительного и защитного характера городской среды. В урбанизированной среде озеленение является производителем кислорода. В городе необходимо понимать, какое количество чистого воздуха есть, в современных условиях его необходимо приумножать. Поэтому прогноз количества кислорода в городской среде является главным приоритетом на всех стадиях градостроительного проектирования.

Зеленые насаждения выполняют жизненно важную для жителей города функцию — вырабатывают кислород благодаря особому биологическому процессу, фотосинтезу [12].

Под фотосинтезом понимается превращение зелеными растениями и фотосинтезирующими микроорганизмами при участии энергии света и поглощающих свет пигментов (хлорофилл и др.) простейших соединений (воды, углекислого газа и минеральных веществ) в сложные органические вещества, необходимые для жизнедеятельности всех организмов, сопровождающееся выделением кислорода [13].

В результате фотосинтеза растительность земного шара ежегодно усваивает около 200 млрд т углекислого газа и выделяет в атмосферу примерно 145 млрд т свободного кислорода. В процессе фотосинтеза одновременно с накоплением органического вещества и продуцированием кислорода растения поглощают часть солнечной энергии и удерживают ее в биосфере. На фотосинтез используется около 1 % солнечной энергии, падающей на Землю [13].

В условиях постоянно ухудшающейся экологической обстановки, стрессов и сильнейших нагрузок в городах качество воздуха приобретает особое значение. Сегодня город является гигантским потребителем кислорода. Только один автомобиль, сжигая 1 л бензина, поглощает из атмосферы 2400 л кислорода, делая тем самым непригодным для дыхания 60 м^3 воздуха [14].

В связи с тем, что зеленые насаждения — одни из эффективных поставщиков чистого воздуха в городскую среду, при их оценке необходимо четко понимать, какое количество кислорода выделяют объекты и элементы ЗК и достаточно ли его для комфортного проживания на прилегающей территории. Для решения данной задачи за основу был взят метод расчета процесса фотосинтеза В. Н. Луканина [10].

Для расчетов необходимы следующие показатели:

1) площадь зеленых насаждений S_F , — учитывается фактическая озелененная территория в количественных единицах. В баланс территории объектов и элементов ЗК, в зависимости от их профиля и функции, входит не

только площадь озеленения, но и административные здания, пешеходно-транспортная сеть, малые архитектурные формы и т. д.;

2) средняя площадь проекции крон деревьев S_{tree} :

$$S_{\text{tree}} = \Pi \cdot 3^2 \cdot \text{м}^2, \quad (4)$$

где Π — математическая константа, выражающая отношение длины окружности к длине ее диаметра;

3) среднее количество деревьев N_{tree} , шт.:

$$N_{\text{tree}} = \frac{S_F}{S_{\text{tree}}}, \quad (5)$$

где S_F — площадь зеленых насаждений, а S_{tree} — средняя площадь проекции крон деревьев;

4) скорость фотосинтеза по данным А. Б. Рубин и Т. Е. Кренделева:

$$V_S = 50 \text{ мг}/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч}) = 5 \cdot 10^3 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 5000 \text{ кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{ч});$$

5) интенсивность производства кислорода в час N_{O_2} :

$$N_{O_2} = V_S S_F, \quad (6)$$

где V_S — скорость фотосинтеза, S_F — площадь зеленых насаждений;

6) потребность населения в кислороде P_{O_2} рассчитывается с учетом:

- потребления кислорода одним человеком на 1 кг веса, г/ч:

$$Z_{O_2} = 0,36;$$

- среднего веса жителя города 50 кг;

- количество жителей N берется из расчета радиуса обслуживания объекта озеленения общего пользования, что зависит от площади и профиля объекта.

Таким образом, потребность населения в кислороде за 1 час можно оценить, кг/ч:

$$P_{O_2} = N m_{\text{чел}} Z_{O_2}; \quad (7)$$

7) зная потребность населения в кислороде, и количество выделяемого кислорода растительностью объектов и элементов ЗК за это же время, определяется, сколько процентов от выделяемого кислорода поглощается жителями данной территории или всего города:

$$\frac{P_{O_2}}{N_{O_2}} 100\%, \quad (8)$$

где P_{O_2} — потребность населения в кислороде в 1 час, а N_{O_2} — интенсивность производства кислорода в 1 час.

Данную методику следует использовать на стадии генерального плана с учетом климатической зоны территории и экологической обстановки. Также расчет кислорода, выделяемого растительностью объектов и элементов ЗК, следует учитывать при расчете уровня озелененности территории с учетом всех поправок.

2. Определение степени влияния городской среды на устойчивость ЗК города

Проведение социологического опроса групп жителей, проживающих в радиусе обслуживания объектов и элементов ЗК

При изучении показателя устойчивости ЗК необходимо руководствоваться двумя основными методиками:

- 1) субъективного подхода в изучении поставленной задачи;
- 2) объективного подхода в изучении поставленной задачи.

Субъективный подход основывается на том, что значение показателя устойчивости ЗК отражается на личном ощущении человека, непосредственно проживающего в области влияния исследуемых объектов и элементов, т. е. оценка заключается в большей мере в оценке привлекательности территории, базируемой на жизненном опыте горожанина и его интеллектуальном развитии. Данное направление оценки является бихевиоретическим подходом к исследованию, основой которого является оценка восприятия человеком окружающего мира как важного фактора. Одним из способов получения субъективной оценки является социологическое исследование [15].

В субъективной модели показатель устойчивости ЗК города может определяться как соединение различных статистических комбинаций мониторинга, а именно санитарного, гигиенического, природоохранного и экологического, что позволяет собрать данные о состоянии системы исследования, как продолжительного наблюдения долгосрочного влияния различной степени антропогенного воздействия на окружающую среду [15].

В основу оценки показателя устойчивости принимаем субъективистский метод исследования с применением аналитического, статистического, иерархического, корреляционного и регрессионного методов анализа.

Объекты и элементы ЗК непосредственно влияют на показатель комфортности прилегающей жилой застройки для жителей данной местности. Высокий показатель устойчивости объектов и элементов ЗК оказывает влияние на воздухообмен окружающей территории, вследствие чего улучшается физическое и психоэмоциональное самочувствие жителей, что важно для современного обитателя мегаполиса.

Для определения значения показателей устойчивости ЗК в первую очередь необходимо выявить отношение жителей к его объектам и элементам и уже на основании их оценки проводить углубленное изучение рассматриваемых объектов и элементов. В этих целях проводится статистическое исследование. Разрабатывается план (анкета), который состоит из программно-методологических и организационных вопросов. Основное содержание программно-методологического раздела плана (анкеты) составляют вопросы об объекте и единице наблюдения, о программе наблюдения и принципах ее разработки, о статистической формуле и инструкции [16].

Проведение исследования осуществляется по следующим этапам:

- 1) выбор группировочного признака — возрастная категория;
- 2) определение порядка формирования групп — установление числа групп, образование интервалов (4 возрастные группы):
 - 18—25 лет;
 - 25—35 лет;
 - 36—55 лет;
 - более 55 лет.

3) разработка системы статистического показателя для характеристики групп и объекта в целом. Статистический показатель — непосредственно группы людей, проживающих в радиусе пешеходной доступности ($R = 750$ м) до объекта или элемента зеленого каркаса;

4) разработка макетов статистических таблиц для представления результатов сводки. Для обработки данных используется метод экспертных оценок.

После определения основания группировки следует решить вопрос о количестве людей в группах, на которые надо разбить исследуемую совокупность. При этом необходимо обратить особое внимание на число единиц исследуемого объекта и степень колеблемости группировочного признака, а также на особенности объекта и цели исследования. Определение числа людей в группах можно осуществить, используя формулу Стерджесса [17]:

$$n = 1 + 3,3221qN, \quad (9)$$

где n — число человек в группах; N — число единиц совокупности.

Метод экспертных оценок позволяет провести обработку данных опроса и выделить из большого числа факторов наиболее важные для дальнейшего изучения и отсеять остальные. Один из методов экспертных оценок является метод предпочтения, согласно которому эксперт определяет весомость свойств в порядке предпочтения так, что наименее предпочитаемое (наименее важное) свойство получает номер 1, следующее по важности свойство номер 2 и т. д. Формируется шкала важности от 1 до n , далее составляется таблица — матрица рангов.

Метод априорного ранжирования факторов влияния городской среды на показатель устойчивости ЗК города

При оценке показателя устойчивости ЗК города необходимо учитывать множество факторов природного и антропогенного характера. На начальной стадии проведения исследования проводится аналитический обзор научно-технической информации о влиянии и значимости каждого фактора группы, из большого числа факторов выделяют наиболее важные для дальнейшего изучения и отсеивают остальные.

На стадии предварительного изучения объекта исследования при формализации априорных сведений применяется априорное ранжирование факторов.

Метод априорного ранжирования факторов заключается в ранжировании факторов, которые, согласно априорной информации, имеют существенное влияние и ранжируются в порядке убывания вносимого ими вклада. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга — места, которое отведено экспертом в процессе проведения опроса данному фактору при ранжировании всех факторов с учетом предполагаемого (количественно неизвестного) влияния на параметры оптимизации. В процессе проведения опроса каждый эксперт заполняет анкету, в которой перечислены факторы, их размерность и предлагаемые интервалы варьирования. При заполнении анкеты эксперт определяет место факторов в ранжированном ряду.

Оценка степени согласованности мнений экспертов, определяемая с помощью коэффициента конкордации w , рассчитывается по формуле:

$$w = \frac{12s}{m^2(k^3 - k)}. \quad (10)$$

Если величина коэффициента конкордации существенно отличается от нуля, то между мнениями экспертов имеется существенная связь. Тем не менее, эксперты неодинаково ранжируют факторы, найденное значение заметно отличается от единицы. Значимость коэффициента конкордации проверяется по χ^2 -критерию, приняв гипотезу о наличии согласия экспертов, если при заданном числе степеней свободы табличное значение χ^2 -критерия меньше расчетного значения для 5%-го уровня значимости:

$$\alpha = 0,05.$$

Значимость коэффициента конкордации проверяется по формуле:

$$\chi^2 = \frac{12s}{mk(k+1) - \frac{1}{k-1} \sum_1^m T_j}, \quad (11)$$

где $T_j = \sum (t_j^3 - t_j)$; t_j — число одинаковых рангов в j -м ранжировании.

После оценки согласованности мнений экспертов строится диаграмма рангов: по оси X откладываются факторы, по оси Y — соответствующие суммы рангов. Чем меньше сумма рангов данного фактора, тем выше его место на диаграмме. В случае неравномерного экспоненциального убывания распределения часть факторов исключается из дальнейшего рассмотрения. Если распределение равномерное, то в рассмотрение включают все факторы.

Метод анализа иерархии. Оценка факторов городской среды, влияющих на формирование уровня устойчивости ЗК города

На показатель устойчивости ЗК города влияют 3 основные группы факторов [18]:

- 1) природно-климатические;
- 2) антропогенные;
- 3) планировочные (эстетические).

Данные группы факторов имеют прямую связь между собой, поэтому затруднительно выбрать какую-то одну для определения влияния на устойчивость. Для предварительной оценки влияния рассматриваемых групп факторов предлагается использовать метод анализа иерархии (МАИ), который возможно применять при ограниченном количестве статистического массива данных для получения блок-схемы набора факторов для дальнейшего исследования методом регрессионного анализа [19].

МАИ является общей теорией измерения. Он применяется для вывода шкал отношений как из дискретных, так и из непрерывных парных сравнений в многоуровневых иерархических структурах. В предлагаемом методе поставленная проблема разбивается на более детальные составляющие, которые попарно оцениваются лицом, принимающим решение (ЛПР). Результатом является иерархия взаимодействия по интенсивности элементов для последующего выражения суждения в численном эквиваленте. Данный метод исследования построен на синтезе множественного суждения, полученного при определении приоритетности критериев путем нахождения альтернативных решений [19].

Первая стадия этапа исследования заключается в выборе наиболее важных компонентов поставленной проблемы; вторая стадии этапа исследования — в нахождении лучшего способа проверки наблюдений, т. е. проведения испытаний и различных способов оценки элементов. Для проведения следующей стадии необходимо определить метод в решении оценки качества проведенного испытания. Для оценки принятых решений и их дальнейших последствий применяется математическая модель. Поиск решений проводится по принципу иерархии, — полученные результаты на одном уровне являются входными данными для другого уровня. Данный многоступенчатый процесс решения задачи можно систематизировать именно с помощью МАИ [19, 20].

Для построения модели иерархии необходимо руководствоваться принципами декомпозиции и идентичности. Для описания сравнительного суждения модели иерархии используют принцип дискриминации и синтезирования [19, 20].

Цель исследования, формирующаяся на первом этапе, устанавливает проблему, после переходят к декомпозиции, т. е. включению более мелких задач. Следующим этапом является нахождение наилучшего способа решения задач — это второй этап. На третьем этапе необходимо генерировать альтернативы исследуемых критериев, выбираются несколько альтернативных объектов для последующих оценок. После проверки проблемы и ее декомпозиции необходимо разделить ее на 3 уровня иерархического блока. Иерархию можно считать рабочей моделью, если каждый элемент заданного уровня является критерием нижнего уровня [21].

Как только поставленная проблема описана в виде иерархической структурной схемы, устанавливают приоритеты каждого критерия при сравнении с объектом и выделяют наиболее важную из альтернатив. Принцип дискриминации и сравнительных суждений осуществляется в парном сравнении каждого элемента задачи (табл. 1).

Таблица 1

Матрица бинарных сравнений [1]

	A_1	A_2	A_3	...	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_3	...	w_1/w_n
A_2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_3	...	w_2/w_n
A_3	w_3/w_1	w_3/w_2	w_3/w_3	...	w_3/w_n
...
A_n	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_3	...	w_n/w_n

Здесь $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ — элементы из числа множества n -элементов (являющегося одним из элементов альтернатив или критерием оценки объекта) и $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ — соответствующая доля влияния или вес интенсивности.

Здесь i -я строка является бинарным отношением смысла i -го критерия к смыслам всех остальных альтернатив. Свойства рассматриваемой матрицы имеют обратную симметрию, т. е. $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Так, если значения $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ неопределены заранее, то бинарность элементов определяют с помощью субъективных суждений, которые оцениваются по специальной шкале суждений. Сколько есть критериев для оценки, столько же должно быть и матриц суждений.

На третьем уровне, когда есть способы измерения критериев, находят наилучший вариант оценки критериев по отношению к объекту.

Для заполнения матриц на втором уровне необходимо заполнять клетки так, чтобы полученные субъективные оценки являлись продуманными количественными оценками качества объекта. При отсутствии у критериев оценки количественного описания можно использовать качественный признак критериев по шкале сравнительной важности одного элемента над другим, представленной в табл. 2 [19].

При парном сравнении необходимо дать оценку что хуже, что лучше и на какую степень. Так как качественных характеристик элементов иерархии больше, то необходимо качеству элемента дать оценку и сравнить с количественным элементом критерия. Эффективность и правомочность шкалы относительной важности доказаны и апробированы многими исследователями различных направлений [19—21].

Таблица 2

*Шкала относительной важности
 для оценки элементов иерархии группы факторов, оказывающих влияние
 на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования [1]*

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснения
1	Равная предпочтительность	Две альтернативы одинаково предпочтительны с точки зрения цели
2	Слабая степень предпочтения	Промежуточная граница между равным и средним предпочтением
3	Средняя степень предпочтения	Опыт эксперта позволяет считать одну или из альтернатив немного предпочтительнее другой
4	Предпочтение выше среднего	Промежуточная граница между средним и умеренно сильным предпочтением
5	Умеренно сильное предпочтение	Опыт эксперта позволяет считать одну из альтернатив явно предпочтительнее другой
6	Сильное предпочтение	Промежуточная граница между умеренно сильным и очень сильным предпочтением
7	Очень сильное (очевидное) предпочтение	Опыт эксперта позволяет считать одну из альтернатив гораздо предпочтительнее другой: доминирование альтернативы подтверждено практикой

Окончание табл. 2

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснения
8	Очень, очень сильное предпочтение	Промежуточная граница между очень сильным и абсолютным предпочтением
9	Абсолютное предпочтение	Очевидность подавляющей альтернативы над другой имеет неоспоримое подтверждение
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одного вида деятельности с другим получено одно из вышеуказанных чисел (например 3), то при сравнении второго вида деятельности с первым получим обратную величину (т. е. 1/3)	

Для реализации следующего этапа исследования необходимо получить синтез локального приоритета. Набор локальных приоритетов формируется из группы матриц парных сравнений, которые отражают относительное влияние множества показателей на элемент с предыдущего уровня. Векторы приоритетов каждого критерия получают через метод аналитического планирования при составлении столбцов относительных значимостей [19—21].

Для определения вектора приоритета одним из наилучших приемов является вычисление геометрически среднего при соответствующей критерию строки [19—21]. Приоритет суждения рекомендуется вычислять по строкам матрицы по алгоритму:

1) каждый элемент строки матрицы перемножается, затем извлекается из произведения корень n -й степени (где n — размерность матрицы), таким образом вычисляется геометрически среднее каждой строки матрицы:

$$\begin{aligned} \sqrt[n]{a_{11}a_{12}a_{13}\dots a_{1n}} &= x_1, \\ \sqrt[n]{a_{21}a_{22}a_{23}\dots a_{2n}} &= x_2, \\ &\dots, \\ \sqrt[n]{a_{n1}a_{n2}a_{n3}\dots a_{nm}} &= x_n; \end{aligned} \tag{12}$$

2) затем находим сумму всех x_i :

$$S = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i \dots + x_n; \tag{13}$$

3) таким образом получается нормированный вектор приоритетов рассматриваемых компонентов суждений:

$$\begin{aligned} X_1 &= x_1/S, \\ X_2 &= x_2/S, \\ &\dots \\ X_n &= x_n/S. \end{aligned} \tag{14}$$

Нормируемый вектор приоритетов X_i является количественной характеристикой каждого элемента иерархии матрицы внутри каждого уровня и называется *компонентом локального вектора приоритетов*. Данный вектор определяет вес каждого элемента рассматриваемой матрицы иерархии и представляет собой количественное описание проблемы на соответствующем уровне, а именно — продвижение к поставленной цели на верхнем уровне.

Для определения степени согласованности матрицы необходимо рассчитать индекс согласованности (ИС) по следующему алгоритму:

- 1) необходимо просуммировать каждый столбец матрицы суждений;
- 2) найденная сумма в первом столбце матрицы умножается на величину нормализованного компонента вектора приоритетов первой строки;
- 3) сумма второго столбца — на вторую компоненту и так далее;
- 4) полученные числа суммируют:

$$\begin{vmatrix} a_{11}a_{12}a_{13}\dots a_{1n} \\ a_{21}a_{22}a_{23}\dots a_{2n} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ a_{n1}a_{n2}a_{n3}\dots a_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1n}X_n \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + \dots + a_{2n}X_n \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + a_{n3}X_3 + \dots + a_{nn}X_n \end{vmatrix}. \quad (15)$$

Получаем характеристику матрицы суждений L_{\max} для нахождения индекса согласованности:

$$\text{ИС} = (L_{\max} - n)/(n - 1), \quad (16)$$

где n — число сравниваемых элементов.

Далее необходимо найти средние случайные согласованности (СС) для случайных матриц разного порядка (табл. 3).

Таблица 3

Средние случайные согласованности (СС)

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	1,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Для получения отношения согласованности (ОС) необходимо разделить значение ИС на число, соответствующее случайной согласованности матрицы одного и того же порядка. Значение ОС должно быть порядка 10 % ИС или меньше. В некоторых случаях можно допустить 20 %, но не более. Качество рассуждений и их логическая законченность оцениваются по величине индекса согласованности (ИС) L_{\max} или ОС. Если нет противоречивых высказываний, то:

$$L_{\max} = n,$$

$$\text{ИС} < 0,3,$$

$$\text{ОС} \approx 10 \% \text{ИС} [19—21].$$

Завершающим этапом является применение процедуры синтеза интегральных векторов приоритетов. Для этого необходимо найти произведение

локального вектора приоритета на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне иерархии. После этого находится сумма каждого элемента в соответствии с его критериями, на которые воздействует этот элемент.

Данный метод позволяет определить количественное значение сравнительной важности факторов, что необходимо при наличии факторов влияния на ЗК города, которые невозможно подвергнуть количественной оценке, что и явилось причиной применения МАИ [22—24].

Современные научные исследования ориентированы, как правило, на выполнение ЗК гигиенических, рекреационных и эстетических функций, однако без комплексной градоэкологической оценки ЗК однозначно сказать, что эти функции каркас выполняет говорить неправомерно. Методология градоэкологической оценки ЗК в зависимости от планировочной структуры города позволит принять решения о регулировании градостроительной деятельности на той или иной территории города, оценить и спрогнозировать весь спектр средоформирующих функций ЗК [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокопенко В. В. Совершенствование методов оценки показателя комфортности объектов общего пользования системы озеленения крупнейших городов (на примере г. Волгограда): дисс... канд. техн. наук. М., 2015. 276 с.
2. Rastyapina O. A., Ganzha O. A., Prokopenko V. V. Setting-up of ecological settlements to promote sustainable development of urban areas // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2020. Vol. 962. Pp. 042003. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042003.
3. Krupina N. N., Kipriyanova E. N., Smirnova V. O. Optimization of a spatial organization city protective greening // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : conference proceedings. 2020. Vol. 421. Pp. 62015. DOI: 10.1088/1755-1315/421/6/062015.
4. Breuste J., Artmann M. Multi-functional urban green spaces // Cities and Nature. 2020. Pp. 137—143. DOI: 10.1007/978-3-030-37716-8_7.
5. Hanson H. I., Eckberg E., Widenberg M., Olsson J. A. Gardens' contribution to people and urban green space // Urban Forestry & Urban Greening. 2021. Vol. 63. Pp. 127198. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127198.
6. Vlasov D., Majorzadehzahiri A. Evaluate quality of urban life // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. Pp. 05035. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305035.
7. Danilina N. V., Majorzadehzahiri A. Analysis situation of urban green space framework in Tehran // Vestnik MGSU. 2021. Vol. 16. Iss. 8. Pp. 975—985.
8. Östberg J. Tree inventories in the urban environment. Methodological development and new applications // Acta Universitatis agriculturae Sueciae. 2013. Vol. 29. 78 p.
9. Adinolfi C., Suárez-Cáceres G. P., Cariñanos P. Relation between visitors' behaviour and characteristics of green spaces in the city of Granada, south-eastern Spain // Urban Forestry and Urban Greening. 2014. Vol. 13. No. 3. Pp. 534—542.
10. Луканин В. Н., Буслаев А. П., Яшина М. В. Автотранспортные потоки и окружающая среда. М., 2001. 407 с.
11. Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яргина З. Н. Город и ландшафт: (проблемы, конструктивные задачи и решения). М. : Мысль, 1986. 238 с.
12. Гостев В. Ф., Юскевич Н. Н. Проектирование садов и парков. М. : Стройиздат, 1991. 340 с.
13. Петров К. М. Общая экология: взаимодействие общества и природы : учеб. пособие для вузов. СПб. : Химия, 1997.
14. Кашкина Л. В. Основы градостроительства. М.: Владос, 2005. 247 с.
15. Бодров В. А. Лесная таксация. М. : Гослесбуиздат, 1951. 52 с.
16. Голуб Л. А. Социально экономическая статистика. М. : Владос, ИМПЭ им. А. С. Грибоедова, 2003. 272 с.
17. Иода Е. В. Статистика: учеб пособие. Тамбов : ТГТУ, 2004. 104 с.
18. Боговая И. О., Теодоронский В. С. Озеленение населенных мест: учеб. пособие. 2-е изд. СПб. : Лань, 2012. 240 с.

19. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Изд. 2-е. М. : ЛИБРОКОМ, 2009. 360 с.
20. Салугин А. Н. Введение в системный анализ: Компьютерные основы принятия решений. Волгоград : ВолГАСА, 2002. 107 с.
21. Ганжа О. А. О применении метода анализа иерархий (МАИ) в оценке факторов, влияющих на уровень шума в зоне перекрестка // VI международная науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития жилищно-коммунального комплекса города» М. : Московский институт коммунального хозяйства и строительства, 2008 г. С. 45—49.
22. Растяпина О. А., Прокопенко В. В., Ганжа О. А. Методы оценки качества среды крупнейшего города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 126—136.
23. Прокопенко В. В., Плеваков И. Н. Принципы и этапы формирования эколого-градостроительного каркаса Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 218—229.
24. Прокопенко В. В. Основные теоретические аспекты формирования системы озелененных территорий в городской среде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 224—237.

© Прокопенко В. В., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В. Основные методики оценки зеленого каркаса крупнейшего города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 155—167.

Об авторе:

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-8161-9766; v.v.p_24@mail.ru

Vyacheslav V. Prokopenko

Volgograd State Technical University

THE MAIN METHODS OF ASSESSING THE GREEN FRAMEWORK OF THE LARGEST CITY

The study is devoted to the selection of methods by which it is possible to establish the sustainability of the green framework of the city, to determine the value of the sustainability indicator of the green framework and its impact on the quality of the urban environment. The presented research is a continuation of the author's work "Improvement of methods for assessing the comfort index of public facilities of the greening system of the largest cities (on the example of Volgograd)".

Key words: the green framework of the city, the stability of the system.

For citation:

Prokopenko V. V. [The main methods of assessing the green framework of the largest city]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 155—167.

About author:

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8161-9766; v.v.p_24@mail.ru

УДК 504.064.2.001.18

Н. М. Сергина^а, Е. О. Брызгина^б, Р. В. Сущенко^а, М. Д. Азарова^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Российский университет транспорта*

СРАВНЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧАСТИЦАМИ PM10 И PM2.5 АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИЯХ ПАРКОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДАХ С РАЗНЫМ КЛИМАТОМ

Показана необходимость систематического изучения концентрации и состава взвешенных веществ в парковых зонах крупных промышленных городов, поскольку здесь люди, особенно пожилые и дети, наиболее подверженные воздействию мелкодисперсной пыли, часто проводят свой досуг, а парки в населенных пунктах традиционно считаются наиболее «чистыми» местами. Приводятся результаты исследований уровня загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами PM10 и PM2.5 на территории двух парков, расположенных в Центральном районе Волгограда, где отсутствуют промышленные предприятия. Проведено сопоставление полученных данных с аналогичными данными для парков в Санкт-Петербурге, где климат существенно отличается от климата в Волгограде.

Ключевые слова: атмосферный воздух, рекреационные зоны, мелкодисперсная пыль, предельно допустимая концентрация.

Качество атмосферного воздуха является важной эколого-гигиенической проблемой для крупных промышленных городов как в России, так и во всем мире. При этом помимо загрязнения городской воздушной среды парниковыми газами особое внимание уделяется содержанию в ней мелкодисперсной пыли с размерами частиц менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2.5) [1].

Результаты многолетних и многочисленных исследований в разных странах, например представленные в работах [2—10], показали, что воздействие повышенных уровней твердых частиц (PM) является причиной сердечно-легочных и респираторных заболеваний и продолжительности жизни ниже ожидаемой. В этой связи Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и директива Евросоюза по качеству атмосферного воздуха относят взвешенные вещества PM10 и PM2.5, содержащиеся в атмосферном воздухе, к наиболее опасным факторам влияния загрязнения воздуха на здоровье населения.

Как правило, поставщиков мелкодисперсной пыли в городскую воздушную среду делят на 5 групп — транспорт, промышленность, бытовое сжигание топлива, природные источники (включая пыль почвы и морскую соль) и неустановленные источники антропогенного происхождения. Вклад каждой из названных категорий в загрязнение атмосферного воздуха частицами PM10 и PM2.5 характеризуется данными, приведенными на рис. 1 [11], и зависит от географического положения, климатических особенностей и уровня экономического развития региона.

В России до недавнего времени контролировалось лишь общее количество взвешенных веществ, что не давало полного представления о качестве атмосферного воздуха в населенных пунктах [2]. К 2016 г. контроль PM организован только в 7 субъектах РФ (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург и др.) [12]. При этом ввиду ограниченных ресурсов места расположения

станций выбираются таким образом, чтобы лучше охарактеризовать районы наибольшего загрязнения [2]. В качестве примера на рис. 2 приведена схема расположения постов и станций мониторинга качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге в 2021 г. [13]. Дискретные наблюдения за качеством атмосферного воздуха осуществлялись на 9 стационарных и одном маршрутном постах Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды, принадлежащих ФГБУ «Северо-Западное УГМС», а также на станциях автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (АСМ), принадлежащей комитету по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности [13].

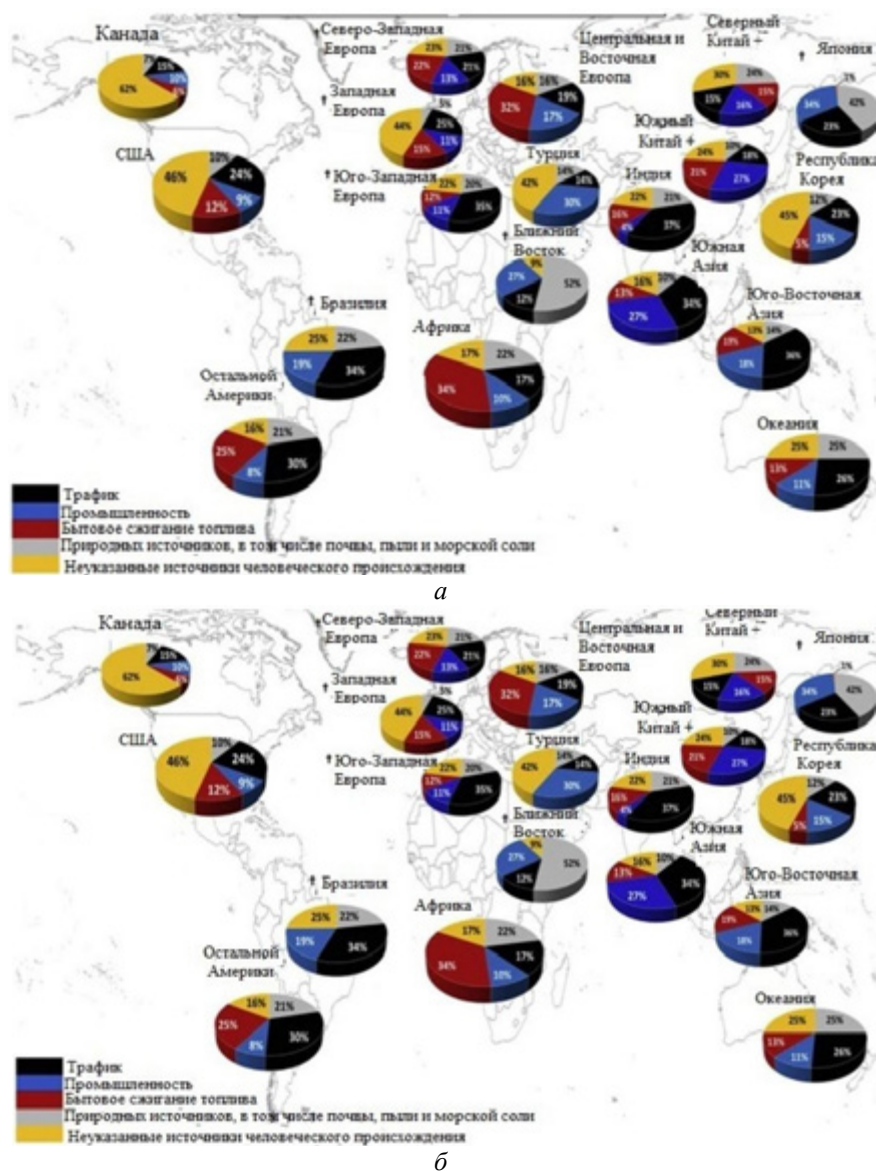


Рис. 1. Вклад различных источников в загрязнение городской воздушной среды: *а* — частицами PM_{2.5}; *б* — частицами PM₁₀



Рис. 2. Схема расположения постов и станций мониторинга состояния загрязненности воздуха на территории Санкт-Петербурга [13]: — главные улицы и магистрали; ▲ — посты сети УГМС; ● — станции непрерывных наблюдений

Условно станции сети мониторинга делятся на автотранспортные (вблизи автомагистралей), промышленные (вблизи промышленных предприятий) и фоновые (в жилых районах) [2]. Такое размещение пунктов наблюдений принято и в Санкт-Петербурге, и в Волгограде [14], однако в отличие от города на Неве, в городе на Волге мониторинг содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе не проводится.

Помимо распространения опыта Санкт-Петербурга (в организации и проведении мониторинга качества воздушной среды по содержанию PM_{10} и $PM_{2.5}$) на другие крупные промышленные центры определенным интересом представляет изучение территории парковых зон в таких городах. По мнению авторов, концентрацию и состав взвешенных веществ в этих зонах необходимо систематически контролировать, поскольку здесь люди, особенно пожилые и дети, наиболее подверженные воздействию мелкодисперсной пыли, часто проводят свой досуг (занимаются физкультурой и спортом, участвуют в культурно-массовых и праздничных мероприятиях и др.), а парки традиционно считаются наиболее «чистыми» зонами.

Целью проводимых исследований является оценка уровня загрязнения частицами PM_{10} и $PM_{2.5}$ атмосферного воздуха на территориях парков в Волгограде, а также сопоставление полученных данных с аналогичными данными для городов, находящихся в иных климатических зонах.

Результаты ранее проведенных исследований [15, 16] показали, что содержание мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе характеризуется сезонной изменчивостью, что, с одной стороны, обусловлено колебаниями температуры и влажности наружного воздуха, с другой стороны, — трансграничным переносом пыли. Учитывая это и то, что парки функционируют круглогодично, исследования проводились в зимний, весенне-осенний и летний периоды.

С учетом городской планировки парковые зоны в Волгограде условно можно разделить на следующие типы [17]:

- граничащие с дорожными магистралями в районах, где отсутствуют промышленные предприятия;
- граничащие с одной стороны с водоемом, с другой стороны — с дорожной магистралью в районах, где отсутствуют промышленные предприятия;
- в районах города с большим количеством промышленных предприятий;
- вблизи одного крупного промышленного предприятия.

К первому типу могут быть отнесены расположенные в Центральном районе города парк-сквер на ул. Аллея Героев (создан в 1950-е гг. в период послевоенного восстановления города) и Центральный парк культуры и отдыха (ЦПКиО) (существует с 1996 г.). Оценка дисперсного состава и массовой концентрации мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе проводилась с применением методики микроскопического анализа¹ и с использованием прибора Handheld 3016 (рис. 3). Одновременно измерялись температура и относительная влажность воздуха, скорость ветра и атмосферное давление. Замеры выполнены в местах наибольшего скопления посетителей парка на высоте 0,5 м, 1 м и 1,5 м, т. е. в зоне дыхания детей, подростков и взрослых.



Рис. 3. Измерение массовых концентраций мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе с помощью прибора Handheld 3016

Результаты оценки качества атмосферного воздуха на территории первого из названных парков описаны в работе [18]. Для измерений в ЦПКиО были выбраны 5 точек. Карта-схема их расположения показана на рис. 4.

¹ ГОСТ Р 59667—2021. Качество атмосферного воздуха. Методика определения фракционного состава пыли оптическим методом. Расчет концентраций взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в атмосферном воздухе на основе фракционного состава. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 16 с.



Рис. 4. Карта-схема расположения точек проведения замеров в ЦПКиО

В качестве примера в табл. 1 представлены результаты измерений, проведенных в апреле 2023 г.

Таблица 1

Массовые концентрации частиц мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе на территории ЦПКО г. Волгограда

Высота, м	Диаметр частиц	Точка № 1 (вход в парк), мкг/м ³	Точка № 2 (башня), мкг/м ³	Точка № 3 (карусель), мкг/м ³	Точка № 4 (колесо обозрения), мкг/м ³	Точка № 5 (берег), мкг/м ³
00,5	PM0.5	1,18	1,11	1,27	1,70	1,96
	PM1	1,87	1,65	1,88	2,47	2,69
	PM2.5	6,17	3,92	4,96	5,09	5,00
	PM5	38,77	16,06	23,05	16,67	17,04
	PM10	147,99	43,56	68,49	35,2	51,95
1	PM0.5	1,19	1,19	1,34	1,29	1,98
	PM1	1,99	1,72	1,92	1,84	2,71
	PM2.5	6,12	4,03	4,02	3,93	4,83
	PM5	34,93	13,97	13,51	12,92	15,14
	PM10	117,82	34,45	24,82	25,99	37,37
1,5	PM0.5	2,75	1,32	1,44	1,37	2,02
	PM1	4,23	2,01	2,00	1,95	2,76
	PM2.5	8,80	4,23	4,41	4,06	4,84
	PM5	32,91	14,3	14,69	13,11	14,67
	PM10	99,41	32,24	32,83	25,59	30,07

О характере распределения по площади ЦПКиО массовых концентраций мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе можно предварительно судить по графическим зависимостям, показанным на рис. 5.

Следует отметить, что значения массовых концентраций частиц с размерами более 5 мкм убывают по высоте. В то же время массовые концентрации частиц фракции PM2.5 по высоте могут как уменьшаться, так возрастать. Аналогичные закономерности выявлены по результатам исследований в парке-сквере на Аллее Героев (табл. 2).

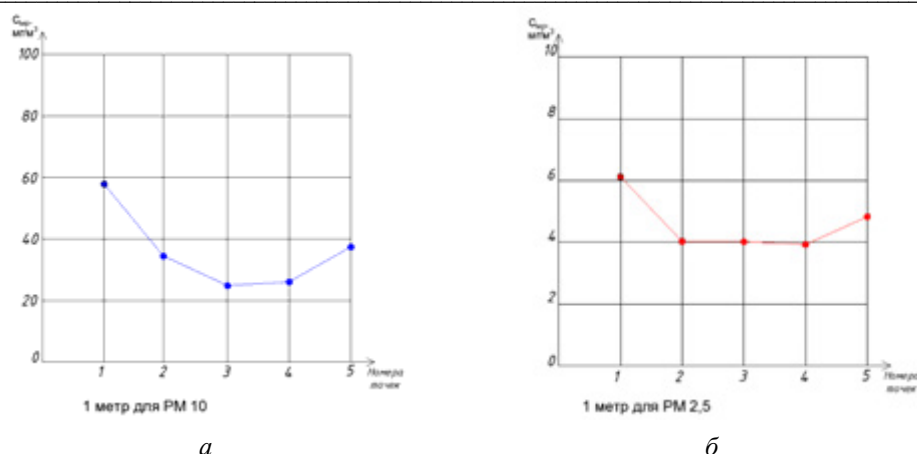


Рис. 5. Изменение массовых концентраций пылевых частиц в атмосферном воздухе по площади ЦПКиО на высоте 1 м: а — для PM10; б — для PM2.5

Таблица 2

Осредненные значения массовых концентраций частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе на территории двух парковых зон в г. Волгограде

Название парка	Высота отбора проб, м	Фракция частиц	Осредненные значения массовых концентраций, доля ПДК _с
Парк-сквер на Аллее Героев	0,5	PM2.5	0,23
		PM10	1,87
	1,0	PM2.5	0,26
		PM10	1,50
ЦПКиО	0,5	PM2.5	0,20
		PM10	1,54
	1,0	PM2.5	0,18
		PM10	1,10
1,5	PM2.5	0,21	
	PM10	1,00	

С точки зрения формирования комплексного подхода к организации наблюдений за качеством атмосферного воздуха по содержанию PM10 и PM2.5 на территориях парковых зон в крупных промышленных центрах представляет интерес сопоставление результатов исследований в этой области, проведенных в городах, расположенных в разных климатических зонах. Для такого сопоставления авторами использованы данные, полученные в парках Санкт-Петербурга. Во-первых, климат в Санкт-Петербурге существенно отличается от климатических условий в Волгограде (в Санкт-Петербурге климат умеренно-влажный, переходящий от континентального к морскому, в Волгограде — ярко выраженный засушливый континентальный). Во-вторых, как отмечено выше, в Санкт-Петербурге осуществляется мониторинг содержания частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе города.

Для сопоставления был выбран один из самых известных парков Санкт-Петербурга — Екатерининский сад, который так же, как парк-сквер на Аллее Героев и ЦПКиО в Волгограде, расположен в центре города на удалении от промышленных предприятий, но соседствует с крупной автомагистралью (Невский проспект) (рис. 6).



Рис. 6. Екатерининский сад

Результаты исследований фракционного состава пыли в атмосферном воздухе на территории Екатерининского сада показаны на рис. 7, 8.

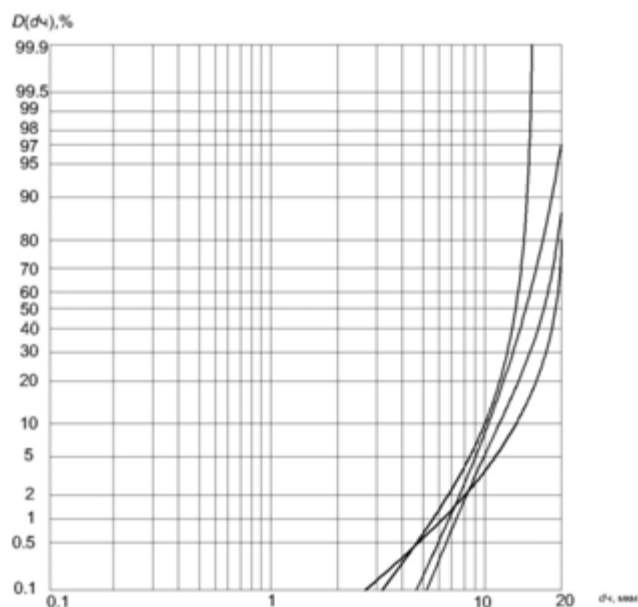


Рис. 7. Пифракционное распределение массы пылевых частиц в воздушной среде на территории Екатерининского сада зимой

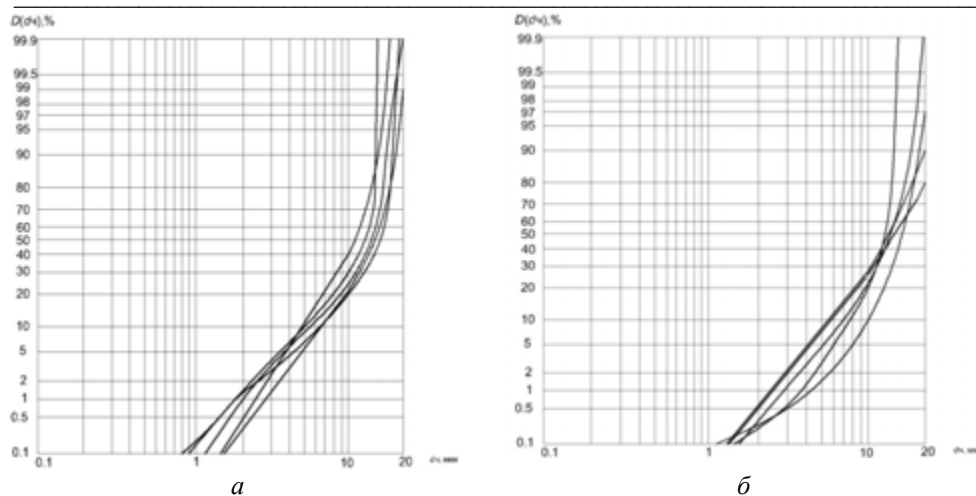


Рис. 8. Пофракционное распределение массы пылевых частиц в воздушной среде на территории Екатерининского сада: *a* — летом; *b* — в весенне-осенний периоды

Полученные данные показывают, что зимой в воздушной среде Екатерининского сада масса частиц PM10 составляет 4...10 % (рис. 7), в осенне-весенний период — изменяется в пределах 10...30 % (рис. 8, *b*) и летом — в диапазоне 20...40% (рис. 8, *a*). При отсутствии частиц PM2.5 в атмосферном воздухе в Екатерининском саду в холодный период (рис. 7) их содержание весной и осенью составляет 0,4...1 % (рис. 8, *b*), возрастая до 0,6...3 % в летний период (рис. 8, *a*).

Осредненные данные о массовой доле мелкодисперсных частиц пыли в атмосферном воздухе на территории парковых зон Волгограда и Санкт-Петербурга показаны в табл. 3.

Таблица 3

Осредненные значения массовой доли мелкодисперсных частиц пыли в атмосферном воздухе на территории парковых зон Волгограда и Санкт-Петербурга

Парковая зона	Осредненные данные о содержании частиц с размерами d_p , %		
	$\leq 2,5$ мкм	2,5...10 мкм	10...20 мкм
Парк-сквер на Аллее Героев (Волгоград)	0,5...1,5	15...25	55...75
Екатерининский сад (Санкт-Петербург)	0,3...1	8,5...20	50...70

На основе полученных данных уже на начальном этапе проводимых исследований можно сделать следующие **выводы**.

1. В воздушной среде на территории обследованных парковых зон Волгограда, относящихся к первому из упомянутых типов (т. е. соседствующих с крупными автомагистралями и удаленными от промышленных предприятий), превышения ПДК в атмосферном воздухе для взвешенных веществ PM2.5 не наблюдаются, но отмечены случаи значительного превышения среднегодовой и среднесуточной ПДК для частиц PM10. Это уже отмечалось в работе [18].

Аналогичная картина наблюдается в парковых зонах Санкт-Петербурга. При чем такая же ситуация по информации, приведенной в [13], выявлена по данным экологического мониторинга в целом по городу.

2. Ожидаемо полученные результаты показали, что массовая доля мелкодисперсных пылевых частиц, содержащихся в атмосферном воздухе в парковых зонах города с влажным климатом (Санкт-Петербург) существенно ниже (особенно для PM10 и PM2.5), чем в городе с засушливым климатом (Волгоград).

3. Приведенные данные следовало бы учитывать при выборе пород зеленых насаждений для обустройства (благоустройства) мест общественного пользования (к числу которых отнесены парки и скверы), осуществляемого по региональным и муниципальным программам в рамках национального проекта «Формирование комфортной городской среды», отдавая приоритет растениями, способным задерживать пыль, поступающую в атмосферный воздух при движении автотранспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Air quality guidelines: global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006. 484 p. URL: ee.a.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications.
2. Холодов А. С., Кириченко К. Ю., Задорнов К. С., Голохваст К. С. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека // Вестник КамчатГТУ. 2019. № 49. С. 81—88.
3. Калаева С. З., Муратова К. М., Чистяков Я. В., Чеботарев П. В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и здоровье человека // Известия ТулГУ. Серия : Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 40—63.
4. Просвирякова И. А., Шевчук Л. М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 14—22.
5. Kim K.-H., Kabir E., Kabir Sh. A review on the human health impact of airborne particulate matter // Environment International. 2015. № 74. P. 136—141.
6. Simkhovich B. Z., Kleinman M. T., Kloner R. A. Air Pollution and Cardiovascular Injury: Epidemiology, Toxicology and Mechanisms // Journal of the American College of Cardiology. 2008. Vol. 52. No. 9. Pp. 719—726.
7. Bai N., Khazaei M., Van Eeden S. F., Laher I. The pharmacology of particulate matter air pollution-induced cardiovascular dysfunction // Pharmacology & Therapeutics. 2007. Vol. 113. No. 1. Pp. 16—29.
8. Jimenez E., Linares C., Rodríguez L. F., Bleda M. J. Short-term impact of particulate matter (PM2.5) on daily mortality among the over-75 age group in Madrid (Spain) // Science of the Total Environment. 2009. Vol. 407. No. 21. Pp. 5486—5492.
9. Crouse D. L., Peters P. A., Van Donkelaar A., Goldberg M. S. Risk of Nonaccidental and Cardiovascular Mortality in Relation to Long-term Exposure to Low Concentrations of Fine Particulate Matter: Canadian National-Level Cohort Study // Environmental Health Perspectives. 2012. Vol. 20. No. 5. Pp. 708—714.
10. Laden F., Schwartz J., Speizer F., Dockery D. W. Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study // American Journal of Respiratory and Care Medicine. 2006. Vol. 173. No. 6. Pp. 667—672.
11. Горшков Е. В., Насими М. Х. Исследование загрязнения городской воздушной среды мелкодисперсной пылью природного происхождения // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. URL: uvdon.ru.
12. Методические проблемы мониторинга мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе населенных мест / А. О. Карелина, А. Ю. Ломтева, Н. А. Мозжухина, Г. Б. Еремин, В. А. Никонов // Гигиена и санитария. 2016. № 95(10). С. 985—988.

13. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2021 году. СПб : Правительство Санкт-Петербурга, 2022. 196 с.
14. Обзор состояния загрязнения окружающей среды на территории Волгоградской области в 2022 году. Волгоград : Волгоградский ЦГМС, 2023. 37 с.
15. Дрозд В. А., Куку П. Ф., Ананьев В. Ю., Жигаев Д. С. Годовые колебания частиц PM10 в воздухе Владивостока // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 5(2). С. 646—651.
16. Azarov V., Sergina N., Sidiakin P., Kovtunov I. Seasonal variations in the content of dust particles pm10 and pm2.5 in the air of resort cities depending on intensity transport traffic and other conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 90. 2017. 012015. DOI:10.1088/1755-1315/90/1/012015.
17. Сущенко Р. В., Азарова М. Д., Сергина Н. М. Исследование загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными твердыми взвешенными частицами в парках г. Волгограда // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная: материалы XII междунар. науч.-практ. конф. Брянск : БГИТУ, 2023. С. 234—237.
18. Сергина Н. М., Брызгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д. Исследования загрязнения мелкодисперсной пылью воздушной среды в парковых зонах большого промышленного города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 231—239.

© Сергина Н. М., Брызгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Сергина Н. М., Брызгина Е. О., Сущенко Р. В., Азарова М. Д. Сравнение уровня загрязнения частицами PM10 и PM2.5 атмосферного воздуха на территориях парков в промышленных городах с разным климатом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 168—178.

Об авторах:

Сергина Наталия Михайловна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Брызгина Екатерина Олеговна — директор Академии интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожном комплексе, Российский университет транспорта. Российская Федерация, 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Сущенко Радмила Владимировна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Азарова Мария Денисовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Natalia M. Sergina^a, Ekaterina O. Bryazgina^b, Radmila V. Sushchenko^a,
Mariya D. Azarova^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Russian University of Transport*

COMPARISON OF PARTICLE POLLUTION LEVEL OF PM10 AND PM2.5 OF ATMOSPHERIC AIR IN THE PARK AREAS IN INDUSTRIAL CITIES WITH DIFFERENT CLIMATES

The need for a systematic study of the concentration and composition of suspended matter in park areas of large industrial cities is shown, since here people, especially the elderly and children most exposed to fine dust, often spend their leisure time, and parks in settlements are traditionally considered the most “clean” places. The results of studies of the level of atmospheric air pollution with fine particles of PM10 and PM2.5 are presented in the territory of two parks located in the Cen-

tral District of Volgograd, where there are no industrial enterprises. The data obtained were compared with similar data for parks in St. Petersburg, where the climate differs significantly from the climate in Volgograd.

К е y w o r d s: atmospheric air, recreational areas, fine dust, maximum permissible concentration.

For citation:

Sergina N. M., Bryazgina E. O., Sushchenko R. V., Azarova M. D. [Comparison of particle pollution level of PM10 and PM2.5 of atmospheric air in the park areas in industrial cities with different climates]. *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. 5, pp. 168—178.

About authors:

Natalia M. Sergina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Ekaterina O. Bryazgina — Director of the Academy of Intelligent Transport Systems in the Automobile and Road Complex, Russian University of Transport. 9, Obraztsova st., Moscow, 127994, Russian Federation

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

Mariya D. Azarova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 72.03 (470.45)

А. Ю. Барковская, И. Н. Етеревская, О. А. Юрова, Ю. В. Янушкина

Волгоградский государственный технический университет

КУЛЬТОВОЕ НАСЛЕДИЕ СТАЛИНСКОЙ ЭПОХИ: ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛГОГРАДСКОГО ПЛАНЕТАРИЯ

Рассмотрена история возникновения Волгоградского (Сталинградского) планетария с позиций не только его исторической архитектурной и градостроительной ценности, но и в контексте его уникального идеологического значения. Предложена трактовка планетария как объекта культового назначения, подарка немецких рабочих к юбилею И. В. Сталина — вождя советского народа, принесшего победу во Второй мировой войне, что придало этому подарку значение культурной репарации. Авторами проанализирован смысл этого события как проявление элементов культового обряда поклонения и возвеличивания личности вождя средствами пропаганды в произведениях культуры. Показано, как при такой идеологической нагрузке в облике здания планетария символически выразились характерные черты «государственного стиля», определившего в период послевоенного восстановления архитектурный облик Сталинграда.

Ключевые слова: архитектурное наследие Волгограда (Сталинграда), архитектура неоклассицизма, сталинский ампи́р, архитектура послевоенного Сталинграда.

Волгоградский планетарий — памятник архитектуры и градостроительства регионального значения¹ — стал одним из самых узнаваемых элементов градостроительного ансамбля центральной части города Волгограда. Здание Волгоградского планетария является уникальным архитектурным, техническим и научным объектом, который в настоящее время считается одним из крупнейших в России и занимает восьмое место среди планетариев мира. Кроме того, этот объект можно рассматривать в качестве культового наследия сталинской эпохи — подарка ко дню рождения вождя, в связи с этим особый интерес представляет история создания архитектурного облика Волгоградского планетария.

Используя понятие «культовый», авторы стремились отразить несколько смыслов его определения. Первый отсылает к особому уровню почтения и восхищения, как близкий по значению к «легендарный», «всем известный», «признанный по всему миру». Второй характеризует Волгоградский (Сталинградский) планетарий как элемент обряда, сопряженного с поклонением, возвеличиванием личности вождя средствами пропаганды в произведениях культуры, и связан с культом личности И. В. Сталина. Архитектурное сооружение в условиях тоталитарного общества становится способом представления и сакрализации власти [1], при этом в нем концентрируется множество знаков и символов. Это в полной мере отразилось в храмоподобном облике здания Сталинградского планетария и его важной градостроительной роли в

¹ ВООПИиК Волгоградское региональное отделение. Памятник архитектуры и градостроительства регионального значения. РФ, г. Волгоград, Центральный район, ул. Гагарина, 14. Номер в ЕГР ОКН 341710762190005. Постановление Волгоградской областной Думы № 62/706 от 05 июня 1997 года «О постановке на государственную охрану памятников истории и культуры Волгоградской области». URL: <https://voopiik34.ru/object/volgogradskij-planetarij>.

формировании центрального ансамбля города имени вождя — завершение перспективы одной из его главных улиц [2]. Также здесь следует отметить значимость планетариев, связанную с культом космической науки в 1950-е гг., как сооружений, реализующих не только сугубо научно-просветительские функции, но и как объектов, архитектура которых тесно связана с поиском символического образа архитектурного сооружения как мироздания.

История культового подарка

За время руководства страной И. В. Сталину подарили больше 1 миллиона самых различных подарков. Как отмечают исследователи [3], традиция дарить подарки исходит от древнего ритуала жертвоприношения, с незапамятной древности фигура вождя, царя имела сакральный характер, поэтому подношение вождю равноценно подношению богу. Особое значение имеют подарки, преподнесенные И. В. Сталину на его 70-летний юбилей, 21 декабря 1949 г., ставший апогеем преклонения мира перед «вождем народов». Список печатался в советских газетах с декабря 1949 г. по март 1953 г. Руководители различных стран, коллективы предприятий, простые граждане поздравляли не столько человека, сколько великую историческую личность, избавившую мир от фашизма. Иосиф Виссарионович был лидером народа, принесшего победу во Второй мировой войне, ведущей фигурой среди союзников. Отношение к нему было почти равным поклонению божеству в религиозном культе.

Всего к юбилею вождя было прислано 23 162 подарка и около миллиона поздравительных посланий [4]. Под их экспонирование было отдано 17 залов в Музее Революции в Москве (сам музей просуществовал до хрущевских времен). Именем вождя назывались улицы, новые предприятия, ему посвящались произведения искусства и новейшие достижения техники не только в СССР, но и по всему миру.

В Чехословакии самую высокую карпатскую вершину Словацкий Штит переименовали в Сталинский Штит. Кроме того, в республике выпустили две юбилейные монеты в 50 и 100 крон. Благодарственный адрес И. В. Сталину от чехословацкого народа был подписан 9 миллионами человек. Болгарский город Варна был переименован в Сталин (в 1956 г. ему вернули прежнее название). Послание «Великому Сталину, нашему освободителю, учителю и вождю от признательного болгарского народа» подписали 5 миллионов человек. Французские пролетарии подарили серебряного «Голубя мира» с гравировкой: «Никогда французские рабочие не будут воевать с рабочими СССР». Были и бесхитростные подарки от простых людей. К примеру, француженка преподнесла шапочку девочки, сожженной в газовой печи фашистского концлагеря.

Но, пожалуй, самый необычный и ценный подарок преподнесли руководство и жители Германской Демократической Республики. Рабочие народного предприятия «Цейсверке» им. Карла Маркса в г. Йена решили подарить советскому народу планетарий. Это должен был быть не просто планетарий, а один из лучших в мире, и стоять он должен был именно на Сталинградской земле, где Советский Союз переломил ход событий Великой Отечественной войны (на Восточном фронте Второй мировой войны).

Подарок имел определенную политическую подоплеку, выполняя функцию культурной репарации. После проигрыша в войне Германии было необходимо восстановить свою международную репутацию. А учитывая, что Сталинград — место наиболее кровопролитных событий Второй мировой войны, процесс налаживания отношений с СССР было решено начать с заживления именно этой раны.

Такая трактовка является популярной и подтверждается известным высказыванием профессора Иоганнеса Хартлинга: «Подарок будет символом стремления нашего народа к миру, прогрессу. Советский Союз спас мировую цивилизацию, и мы, немецкие ученые, посвятившие свою жизнь оптике, с огромным воодушевлением приняли решение о постройке планетария на героической земле Сталинграда» [5].

Можно сказать, что это был подарок немецкого народа, осознавшего свою историческую вину, советскому народу — победителю фашизма. Именно планетарий — аппарат, способствующий изучению законов мироустройства, как нельзя лучше подходил на роль символа мирного созидания, объединяющего в едином порыве все прогрессивное человечество под руководством великого вождя. Это было бесспорно, но вот лаконичный архитектурный облик здания планетария, запроектированного немцами, по мнению советского партийного руководства требовал доработки.

Однако в преддверии 70-летнего юбилея генералиссимуса И. В. Сталина зародилась версия, что планетарий — подарок, но не народу, а его вождю, под руководством которого СССР одержал победу над мировым злом. В пользу этого в «Положении о Сталинградском Планетарии» находим: «Над главным входом из камня высечь надпись о том, что здание является даром великому вождю И. В. Сталину от трудящихся ГДР»². Открытым остается вопрос: исходила ли эта инициатива непосредственно от работников завода «Цейswerке» в Йене или это было решением руководства ГДР, разместившего заказ на изготовление аппарата планетарий на предприятии? «Такого заказа завод никогда не имел», — вспоминали рабочие завода [6], возможно, они имели в виду при этом не только сложность порученного дела, но и время, за которое необходимо было выполнить уникальную работу³. Как бы то ни было, коллектив завода в рекордно короткие сроки, всего за 4 месяца вместо обычных 16, изготовил свой первый выпущенный после войны аппарат — оптико-механический проектор «Большой Цейс» и отправил его в 1954 г. в Сталинград.

В пользу версии об именном подарке И. В. Сталину говорят также изготовленные в ГДР и использованные в интерьерах здания Волгоградского планетария светильники, декорированные бронзовыми рельефными дисками с символическим числом «70», увенчанными буквой «С» (рис. 1).

Первоначальный проект

По замыслу архитекторов из ГДР планетарий следовало построить за городом, на левом берегу Волги, а территорию окружить большим красивым парком. Такое решение было обусловлено тем, что обсерватория требует открытого пространства, чтобы высокие объекты городского ландшафта

² Положение о Сталинградском планетарии. Р. 5965. Оп. 4. Ед. хр. 1. Л. 4.

³ Сталинградская правда. Сталинградский планетарий. 19.09.1954. С. 1.

и искусственное городское освещение не мешали наблюдению за движением небесных тел. По проекту, разработанному в Восточной Германии, здание Планетария состояло из круглого зрительного зала, вмещающего 525 мест, обсерватории, квартиры директора, вестибюля с гардеробами и узких галерей, ведущих к обсерватории, квартире директора и служебному помещению для аппарата планетария. Но от этого замысла отказались по нескольким причинам.



Рис. 1. Атрибуты именного подарка И. В. Сталину в декоративном оформлении Волгоградского планетария

Во-первых, проект был рассчитан на умеренный европейский климат и не соответствовал резко континентальному климату города, для которого характерна умеренно холодная снежная зима и жаркое сухое лето. Предлагаемые для здания конструкции: стены, перекрытия, столярные изделия не только недостаточно учитывали климатические условия, но и были решены утилитарно, по типу промышленных, а не общественных построек.

Во-вторых, состав помещений не отвечал условиям работы планетария в нашей стране, поскольку, например, включал отдельную квартиру для директора планетария. Кроме того, размеры части помещений, их высота были признаны недостаточными для общественного здания, при условии одновременного нахождения в здании больших масс людей.

В-третьих, расчлененная композиция плана, сделанного с расчетом постройки здания на загородном участке, не соответствовала компактному участку, выбранному для строительства планетария в Сталинграде. Решением исполкома Сталинградского горсовета депутатов трудящихся для строительства планетария был отведен участок в квартале, ограниченный пр-том Сталина, ул. Киевской (ныне Гагарина), Коммунистической и 13-й Гвардейской. Этот квартал замыкает с севера одну из центральных уличных перспектив города с весьма символическим названием — ул. Мира. Сталинградские архитекторы расположили здание планетария по оси ул. Мира так, чтобы вид

на него открывался из самого сердца исторической части Сталинграда — площади Павших Борцов — пересечения ул. Мира и Аллеи Героев (рис. 2).

В градостроительном отношении выбор места был удачным как с точки зрения идеологической, так и практической. Расположение планетария в Центральном районе удобнее загородного в отношении обслуживания посетителей, и, кроме того, здание, находясь в непосредственной близости к Сталинградскому педагогическому институту, стало бы базой для учебно-научной работы.



Рис. 2. Размещение планетария в планировочной структуре центра Волгограда: а — ситуационная схема ул. Мира; б — здание планетария на замыкании главной композиционной оси ул. Мира; в — здание планетария (вид сверху); г — площадь перед планетарием (вид сверху)

В-четвертых, архитектура здания Планетария была выполнена в лаконично-скупом духе западного функционализма и не вписывалась в ансамбль окружающей застройки ул. Мира, реализованной в стиле сталинского неоклассицизма.

Все перечисленные, преимущественно идеологические, несоответствия потребовали переработки проекта. Однако от подарка немецкого народа советскому полностью никто не отказывался, привезенные из ГДР дорогостоящие отделочные материалы и оборудование, аппарат планетарий, детали мощного телескопа, камень-травертин для облицовки здания, ценные породы дерева (палисандровое и лимонное) были использованы по максимуму.

Воплощенный проект

По приказу начальника Управления по делам архитектуры при Совете Министров РСФСР создание нового проекта здания Сталинградского планетария было поручено архитекторам В. Н. Симбирцеву и М. А. Хомутову.

Известный советский архитектор Василий Николаевич Симбирцев (1901—1982) с 1944 по 1959 гг. выполнял обязанности главного архитектора Сталинграда и принимал активное участие в проектировании большинства

значимых градостроительных ансамблей Сталинграда — Аллеи Героев, Площади Павших Борцов, Центральной набережной, здания Областной партийной школы (ныне медицинского университета), за проект которой был удостоен Сталинской премии. Он считал, что «архитектура города Сталинграда должна быть высокого качества, в общественных зданиях должна быть отражена средствами пластических искусств героика города, дела и победы советского народа под руководством партии Ленина — Сталина» [7].

Соавтором В. Н. Симбирцева по разработке проекта планетария стал инженер-архитектор Михаил Александрович Хомутов (1906—1963). М. А. Хомутов также разрабатывал в 1953—1954 гг. проект восстановления (реконструкции) жилого дома НКВД по ул. Мира, 21, непосредственно прилегающего к участку планетария. Этот дом был построен в 1935 г. по проекту архитектора В. И. Кочедамова и находился слева от участка планетария. Его архитектурное оформление было полностью переработано М. А. Хомутовым в стилистике согласованной с архитектурой здания планетария.

Здание Сталинградского планетария по своему объемно-пространственному решению очень функционально, но при этом в архитектурно-художественном плане отсылает к множеству общепризнанных (классических) образцов культовых сооружений различных эпох. Наиболее известные из них и отчетливо проступающие в архитектурном облике Сталинградского планетария — Пантеон в Риме, тоже своего рода храм-обсерватория, и Казанский собор в Петербурге — прототип, легший в основу градостроительной композиции площади перед планетарием [8].

Центрально-осевая симметрия компактного двухэтажного объема здания Планетария с купольным завершением, подчеркнутая шестиколонным входным портиком композитного ордера (рис. 3, *a*), стала достойным завершением архитектурно-планировочной композиции ул. Мира, своего рода переключателем горизонтального движения в профанном, мирском пространстве города на вертикальное восхождение человеческого духа в сакральном пространстве «храма науки».

Композиция фасадов здания планетария в соответствии с принципами классицизма также симметрична и символична. Фасады декорированы филленками и пилястрами композитного ордера с советской символикой (рис. 4). Центральная ось сооружения акцентирована на боковых и заднем фасадах ризалитами (см. рис. 3, *b*). Профилированные венчающие карнизы украшены дентикулами по всему периметру здания (см. рис. 3, *в*), на барабане под ребристым куполом размещен лепной фриз, декорированный гирляндами и надписями с именами десяти великих мировых ученых-астрономов.

Завершение оси на куполе здания венчает 8-метровая (6-метровая без постамента) скульптурная композиция «Мир» из ковanej меди авторства Народного художника СССР В. И. Мухиной (см. рис. 3, *г*).

Скульптурная композиция представляет собой женскую фигуру, в правой руке у нее расположен сноп, а в левой — земной шар, с которого взлетает голубь — символ мира и свободы.

Архитектура Волгоградского планетария не только символична, но и функциональна.

Основной объем здания располагается параллельно красной линии Киевской улицы (ныне — ул. Гагарина) с отступом от нее в глубину, вследствие

чего перед зданием образуется полуциркулярная озелененная площадь (рис. 5). Такое решение обеспечивает спокойный вход и выход массы зрителей и, в случае необходимости, быструю эвакуацию.



Рис. 3. Характерные элементы архитектурно-художественного решения планетария: *а* — шестиколонный входной портик композитного ордера, ориентированный на главный фасад; *б* — ризалиты на боковых и заднем фасадах; *в* — профилированные венчающие карнизы по периметру здания; *г* — скульптурная композиция «Мир» (авт. В. И. Мухина)



Рис. 4. Победоносная советская атрибутика в декоративном оформлении планетария

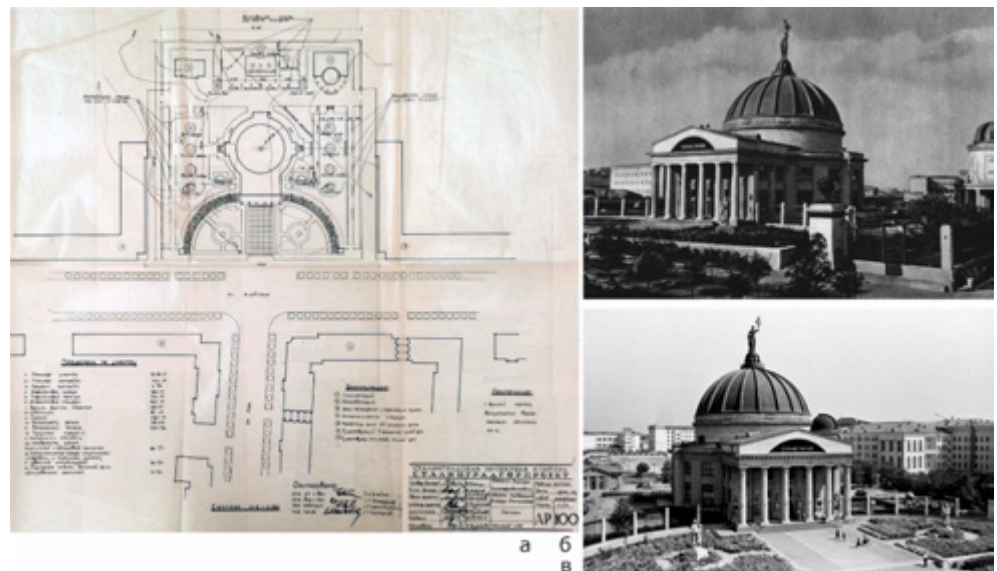


Рис. 5. Организация входного пространства планетария: *а* — генплан, «Сталинградгорпроект», 1953 г.; *б* — историческое фото 1956—1957 гг.; *в* — историческое фото 1960 г.

Пространственно-планировочная структура здания планетария подчинена технологической схеме работы, свойственной всем планетариям СССР.

Плану здания приданы симметричные очертания. Предусматриваются кассовый вестибюль, светлый вестибюль с гардеробами, залы, фойе, помещения для дирекции. Вместо длинных переходов, как в немецком проекте, запроектированы два выставочных зала, из которых один ведет в специальный зал, посвященный деятельности И. В. Сталина и его роли в международном рабочем движении, а второй ведет в обсерваторию. Этот зал может использоваться для лекций, докладов. В цокольном этаже размещаются буфеты, уборные, курительные комнаты, мастерские, кладовые инвентаря, вентиляционные камеры и спецпомещения.

Осуществленный советскими архитекторами компактный купольный объем имеет преобладающую вертикальную ориентацию, в отличие от горизонтально распластанной объемно-пространственной композиции, предлагаемой немецким проектом, подчеркивая тем самым значимость его символической роли как объекта культа в иерархии градостроительных ансамблей пространства послевоенного советского города над функционально-техническими аспектами сооружения планетария как храма науки.

В отечественной архитектуре этого периода особое место отводится сталинскому неоклассицизму. В архитектурных сооружениях этой эпохи можно увидеть прославление светлого будущего, возрождающее образы «золотого» века человечества, Великой Победы и послевоенных лет восстановления мирной жизни страны. Политическим руководством страны был избран курс на «неоклассические» образцы, считавшиеся общепризнанными идеалами красоты в архитектуре и понятными каждому советскому человеку. Черты «государственного стиля» определяли архитектурный облик не только столичных городов, но и провинциальных. Одним из таких городов и был бы Сталинград, если бы не исторические события, обусловившие повышенное внимание к формированию его архитектурного облика как города, носившего имя вождя (1925—1961 гг.), и города воинской славы, претерпевшего значительные разрушения во время Сталинградской битвы. Архитектурный облик послевоенного Сталинграда фактически был сформирован средствами одного стиля, что послужило формированию своеобразного бренда, выделяющего современный Волгоград среди иных городов с историческим наследием [9].

В советской послевоенной архитектуре начинает усиленно звучать монументально-мемориальная тема с героическим масштабом, при этом образная организация городского пространства должна была опираться на идеологические основы. Поэтому в архитектуре Сталинграда этого периода постепенно начинают преобладать принципы классической архитектуры, дополненные советской военной символикой, а застройка возрожденного из пепла города «должна была внушать уважение к стране-победителю, выражать уверенность, оптимизм, веру в победу советского строя и образа жизни» [10].

Камерный масштаб и барочные мотивы жилой застройки ул. Мира первых послевоенных лет (рис. 6) уступают место героическому масштабу образцов в духе стиля ампира [11]. Основным отличием сталинского ампира, ярко выраженного в Сталинградском планетарии, становится особый символизм декора, предполагающий богатое украшение победоносной советской атрибутикой: пятиконечными звездами, воинскими шлемами, картушами и советскими гербами, изображением серпа и молота, венками из дубовых и лавровых листьев (см. рис. 5).

Согласно замыслу сталинградских архитекторов, здание планетария вписывается в перспективу ул. Мира строго по ее оси, подчеркивая тем самым смысловую иерархию пространства советского города сталинской эпохи. При этом величественное 43-метровое здание этого храма науки удачно сочетает античную простоту и соразмерность пропорций с традициями русского классицизма (рис. 7).



Рис. 6. Характерный облик прилегающей застройки по ул. Мира: *а* — жилой дом по адресу ул. Мира, 21; *б* — жилой дом по адресу ул. Мира, 24; *в* — жилой дом по адресу ул. Мира, 26

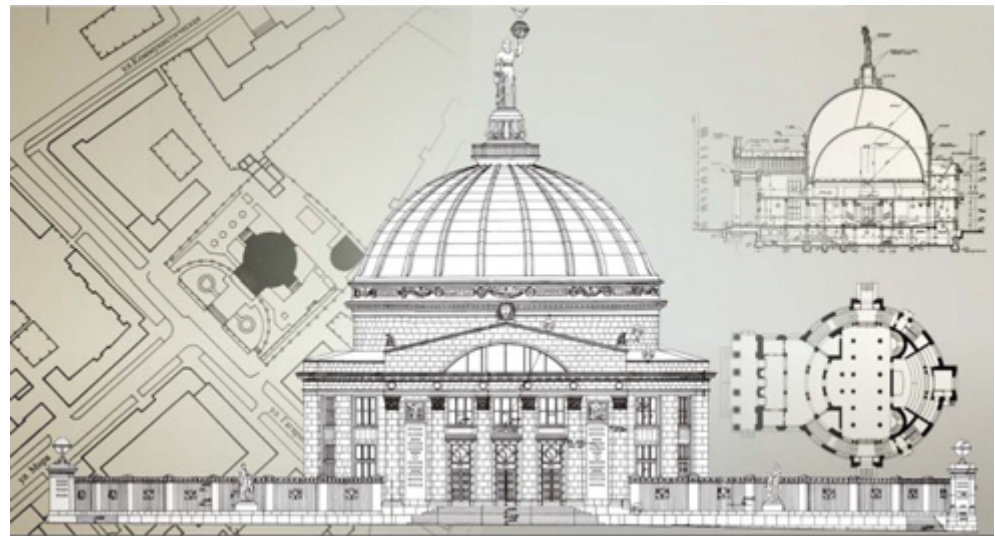


Рис. 7. Объемно-планировочное решение планетария

Интерьер

Внутреннее убранство в здании не менялось с начала строительства, до сих пор здесь царит одновременно торжественная и уютная атмосфера. Здание находится в удовлетворительном состоянии, но по истечении почти 70-летнего срока эксплуатации отдельные элементы нуждаются в реконструкции и ремонте. Внутренняя отделка помещений производилась с полным использованием материалов, присылаемых в Сталинград из ГДР. Стены и колонны основного вестибюля выполнены из искусственного мрамора, полы из крупных плит натурального зальцбургского мрамора красного цвета. В фойе первого этажа находятся 22 колонны из искусственного мрамора с лепными капителями. Из малого зала ведут 2 лестницы на второй этаж. На втором этаже Волгоградского планетария находится одно из самых красивых фойе, оно представляет собой безопорное помещение со сводчатым кессонированным потолком, являющимся продолжением свода входного портика на главном фасаде здания планетария. По центру свода расположены лепные розетки, а стены фойе облицованы панелями из палисандрового и лимонного дерева.

Интерьер зрительного зала для экспонирования планетарной системы решен традиционно и представляет собой большой круглый зал без окон, в

котором расположено 500 кресел. Понизу сферического экрана по периметру зала изображен силуэт Волгограда, служащий фоном для демонстрации проекций аппарата планетарий. В центре зала размещен сам аппарат планетарий.

Сегодня одним из главных элементов интерьерного пространства планетария вновь стал парадный портрет И. В. Сталина. Сформировавшийся в СССР культ личности наглядно воплотился в этом парадном портрете вождя, установленном в фойе первого этажа напротив главного входа в планетарий. На портрете, созданном художником В. Н. Аракеловым из уральских самоцветов в стиле флорентийской мозаики, вождь встречает посетителей. Сталин изображен в парадном белом кителе генералиссимуса, стоящим в лучах солнца на фоне цветущей сирени — еще одна отсылка к радостным победным дням мая 1945 г. В этом произведении, согласно пояснительной записке к проектному заданию для доработанного советскими архитекторами проекта внутренней отделки, в залах, посвященных И. В. Сталину, реализована одна из ведущих тем искусства соцреализма того периода: «Сталин — это Победа»⁴. В 1961 г., когда город был переименован в Волгоград, мозаику предполагалось уничтожить, но сотрудники музея бережно скрыли портрет, замуровав его в стене, благодаря чему тридцать лет спустя мозаику удалось восстановить практически в первоизданном виде (рис. 8).

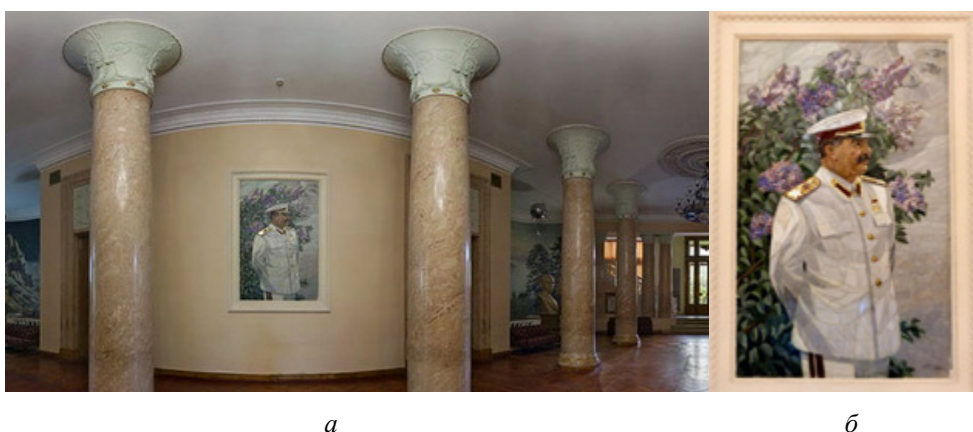


Рис. 8. Парадный портрет И. В. Сталина, установленный в фойе напротив главного входа в планетарий (худ. В. Н. Аракелов); *а* — общий вид интерьера; *б* — портрет в стиле флорентийской мозаики

Заключение

В условиях особого внимания к пространственно-смысловому взаимодействию разновременных элементов городской среды проявляется потребность в понимании принципов формирования и развития современного города не только на уровне социально-политических и экономических преобразований, но и на уровне общезначимых культурных смыслов архитектурно-пространственных трансформаций городской среды. Активность современного этапа реконструкции Волгограда требует исключительного внимания к проблемам, связанным с использованием его историко-архитектурного

⁴ Положение о Сталинградском Планетарии. Р. 5965. Оп. 4. Ед. хр. 1. Л. 4.

наследия. Обращение к истории формирования города в целом и его отдельных фрагментов в частности во многом связано с существенными изменениями смысловой реальности последних лет и активизацией поисков культурной идентичности в рамках формирования нового образа города, нового бренда Волгограда, повышения его конкурентоспособности и туристической привлекательности. Все это затрагивает вопросы приспособления исторического наследия и выявления его образно-пространственного потенциала в связи с новым строительством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хмельницкий Д. С. Архитектура Сталина: Психология и стиль. М. : Прогресс-Традиция, 2007. 376 с.
2. Янушкина Ю. В., Огаркова Е. В., Огарков А. А. Культурный код планетария // Архитектурная и социальная история улицы Мира. Волгоград : Панорама, 2020. С. 22—27.
3. Бондаренко Д. М., Андреева Л. А., Коратаев А. В. Сакрализация власти в истории цивилизаций. Ч. I, II, III. М. : ЦПРИ, 2005. 447 с.
4. Жирнов Е. Всего поступило 23162 подарка // Коммерсантъ. Власть. 2014. № 49. С. 72.
5. Фролов В. И. Звездный дом Волгограда: Волгоградский планетарий. С. 5.
URL: <https://bloknot-volgograd.ru/news/togda-i-seychas-podarok-stalinu-ot-gdr-stal-odnim-1032955?ysclid=lgjsycr093873072304>.
6. Фролов В. И. Звездный дом Волгограда: Волгоградский планетарий. С. 7.
URL: <https://bloknot-volgograd.ru/news/togda-i-seychas-podarok-stalinu-ot-gdr-stal-odnim-1032955?ysclid=lgjsycr093873072304>.
7. Симбирцев В. Н. Об основных моментах нового генерального плана гор. Сталинграда // ГАВО. Ф. 71 Оп. 1 Д. 1252 Л. 23.
8. Янушкина Ю. В. Архитектурные образы послевоенного Сталинграда // Интернет-вестник ВолГАСУ. 2013. Вып. 1(25). С. 14—15.
9. Назарова М. П., Барковская А. Ю., Никитина Д. В. Дворец культуры как социокультурная доминанта города советской эпохи (на примере ДК им. Ю. А. Гагарина, г. Волгоград) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 401—411.
10. Янушкина Ю. В. Особенности архитектурного формообразования в Сталинграде в историко-культурном контексте 1930—1950-х гг.: дис... канд. арх. М., 2009. 253 с.
11. Чеснокова О. Г., Баранская Е. А., Ковалева Г. Н. «Сталинский ампи́р» в застройке послевоенного Сталинграда // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. 2015. № 1. С. 3—7.

© Барковская А. Ю., Етеревская И. Н., Юрова О. А., Янушкина Ю. В., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Барковская А. Ю., Етеревская И. Н., Юрова О. А., Янушкина Ю. В. Культурное наследие сталинской эпохи: история строительства Волгоградского планетария // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 179—191.

Об авторах:

Барковская Анна Юрьевна — канд. филос. наук, доц. каф. философии, социологии и психологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; anna_bark@mail.ru

Етеревская Ирина Николаевна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-9268-9903

Юрова Ольга Андреевна — преподаватель каф. философии, социологии и психологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; yurova.aa@mail.ru

Янушкина Юлия Владимировна — канд. архитектуры, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ya.ianoosh2006@yandex.ru

Anna Yu. Barkovskaya, Irina N. Etereuskaya, Olga A. Yurova, Yuliya V. Yanushkina

Volgograd State Technical University

THE CULT HERITAGE OF THE STALIN ERA: HISTORY OF THE VOLGOGRAD PLANETARIUM CONSTRUCTION

The history of the Volgograd (Stalingrad) Planetarium emergence is considered not only from the standpoint of its historical, cultural, architectural and urban planning value, but also in the context of its unique ideological importance. An interpretation of the Planetarium as a cult gift for the anniversary of leader I. V. Stalin, the leader of the people who brought victory in the World War II, which gave it the function of cultural reparation is proposed. The Planetarium gifting cult meaning as an element of worship and exaltation of the leader's personality rite by means of propaganda in cultural works is analyzed by the authors. The article notes that with such an ideological load, the Planetarium appearance reflected the characteristic features of the "state style" that determined the architectural appearance of Stalingrad during the period of post-war reconstruction.

Key words: architectural heritage of Volgograd (Stalingrad), neoclassicism architecture, Stalin's Empire style, architecture of post-war Stalingrad.

For citation:

Barkovskaya A. Yu., Etereuskaya I. N., Yurova O. A., Yanushkina Yu. V. [The cult heritage of the Stalin era: history of the Volgograd planetarium construction]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 179—191.

About authors:

Anna Yu. Barkovskaya — Candidate of Philosophy, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Irina N. Etereuskaya — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9268-9903

Olga A. Yurova — Lecturer of the Department of Philosophy, Sociology and Psychology, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yurova.aa@mail.ru

Yuliya V. Yanushkina — Candidate of Architecture, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ya.ianoosh2006@yandex.ru

УДК 69.059.4

В. Э. Абсиметов, А. Г. Козлюк, А. С. Фетисов

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОЗВЕДЕННОГО В 1960—1980-Е ГОДЫ ЖИЛОГО ФОНДА
В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РАЙОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ РЕНОВАЦИИ**

Рассмотрены вопросы реновации крупнопанельного домостроения в Центрально-Черноземном районе Российской Федерации. Приведен количественный и качественный анализ жилого фонда рассматриваемого региона. Выявлены недостатки существующих методов обследования зданий, рассмотрено моделирование физического износа объектов КПД.

Ключевые слова: реновация, реконструкция, термомодернизация, надежность, долговечность, физический износ, жилой фонд.

Введение

Обеспечение населения страны качественным и комфортным жильем является важной и приоритетной задачей любого развитого государства. Эта задача достаточно сложная и требует большого количества ресурсов. Во все времена государство различными методами решало данную проблему. В СССР, когда темпы роста промышленности вышли на более масштабный уровень, население городов стремительно росло и большое количество граждан стало переселяться в города, перед правительством встала задача в увеличении жилого фонда. Она осложнялась недавно закончившейся войной, в результате которой от многих городов практически ничего не осталось, а большая часть их населения не имела жилья.

На фоне этого разрабатывались инженерные решения, позволяющие в короткие сроки восстановить и преумножить объем жилого фонда страны. Выходом из непростой ситуации послужили серии типовых застроек, в народе прозванных «хрущевками».

В настоящее время эти здания массовой жилой застройки сохраняются в большей части жилого фонда страны. С каждым годом возрастает потребность в реконструкции и восстановлении жилых зданий, поскольку к моральному износу добавляется физический износ конструктивных элементов и инженерных систем, что ускоряет общий процесс старения. Высокий уровень износа, несвоевременное обслуживание и проведение ремонтно-восстановительных работ привели к ухудшению состояния жилого фонда, увеличению количества аварийного и ветхого жилья.

Исходя из прогрессирующей динамики увеличения аварийного жилого фонда, можно сделать вывод, что программы, направленные на ликвидацию данного процесса не справляются с проблемой [1].

Вопросы достаточности жилого фонда и доступности жилья являются стратегически важными для нашего государства. Состояние жилого фонда России не удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям по комфортности, а в некоторых случаях и по обеспеченности базовыми инженерными сетями, такими как горячее водоснабжение, газификация, канализация и т. д. [2, 3].

Одной из важных задач реконструкции жилого фонда является увеличение плотности застройки [4]. В некоторой степени решить ее позволяет увеличение этажности жилых зданий. Наиболее рациональными и экономически эффективными способами являются повышение плотности застройки путем надстройки и обстройки зданий, устройство многоэтажных вставок между реконструируемыми домами и возведение отдельно стоящих жилых корпусов, создание объектов инфраструктуры, более продуктивное использование подземного пространства [5, 6].

Комплексное решение реконструкции квартальной застройки позволяет создать комфортные условия проживания, отвечающие современным требованиям городской среды.

Проблема реконструкции жилых зданий рассматривается с позиции принципа интегральности, предполагающего комплексное рассмотрение внешних и внутренних факторов, воздействующих на здание в процессе его эксплуатации, и системного подхода, означающего принятие решений по выбору наиболее рациональных методов и технологий реконструкции [4, 7]. Здание рассматривается как сложная система, состоящая из конструкций, инженерного оборудования, элементов благоустройства и др., находящаяся под воздействием временных факторов внешней среды и внутренних воздействий от эксплуатации [8].

Поскольку речь идет о реконструкции, то оценка технического состояния предполагаемого объекта является важным аспектом. Далеко не все здания массовой застройки подлежат подобного рода изменениям. В первую очередь работы по подготовке здания к реконструкции могут превысить закладываемые расходы, что негативно сказывается на ликвидности всего проекта. И дальнейшая работа по проекту может стать не только инвестиционно непривлекательной, но и экономически нецелесообразна.

Цель исследования — определение целесообразности и необходимости реновации объектов крупнопанельного домостроения в Центральном Черноземном районе (ЦЧР) РФ.

Задачи:

- сбор информации о жилом фонде в рассматриваемом регионе;
- изучение существующих методов оценки технического состояния зданий и выявление их недостатков;
- моделирование физического износа объектов каркасно-панельного домостроения (КПД);

Научная новизна: разработана математическая модель оценки эффективности способов реновации жилых зданий массовой застройки.

Состояние жилого фонда объектов КПД в ЦЧР РФ

Проведен анализ жилого фонда в областях ЦЧР постройки 1920—2022 гг. Количественные данные о техническом состоянии жилого фонда (на 17.06.2022 г.) взяты с сайта <https://dom.gosuslugi.ru> и сведены в таблицу. По данным о количестве домов построена диаграмма (рис. 1.).

Из диаграммы видно, что наибольшее количество зданий построено в 1960—1980-е гг. Подавляющее большинство из них — здания «хрущевского» типа. Техническое состояние КПД, построенных с 1960 по 1989 гг., позволяет проводить различные мероприятия по повышению их энергоэффективности и улучшению качества жизни.

Техническое состояние здания или его конструктивных элементов при проведении обследования зданий — это состояние, определяющее, на какой стадии безопасности находится обследуемое здание или сооружение [9].

Техническое состояние жилого фонда ЦЧР

Область ЦЧР	Физический износ по годам постройки, %		
	1980—1989 гг.	1970—1979 гг.	1960—1969 гг.
Белгородская	27,34	34,32	40,79
Орловская	29,49	38,44	44,73
Воронежская	25,11	30,25	33,35
Липецкая	25,99	32,30	37,86
Курская	32,65	35,78	41,65
Тамбовская	35,98	42,23	48,30

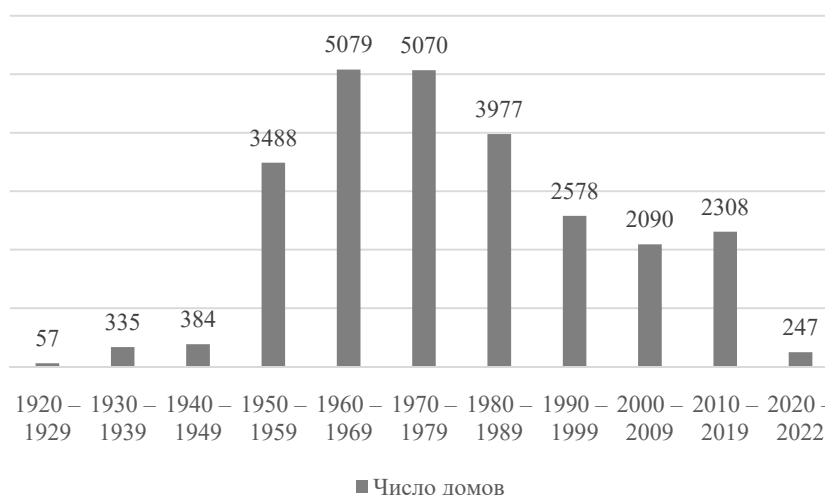


Рис. 1. Число домов по годам постройки в ЦЧР

Обследование по ГОСТ 31937—2011

Современная нормативная база по оценке технического состояния зданий и сооружений основана на ГОСТ 31937—2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»¹. В соответствии с ним цель комплексного обследования технического состояния здания (сооружения) заключается в определении действительного технического состояния здания (сооружения) и его элементов, получении количественной оценки фактических показателей качества конструкций (прочности, сопротивления теплопередаче и др.) с учетом изменений, происходящих во времени, для установления состава и объема работ по капитальному ремонту или реконструкции [10, 11].

¹ ГОСТ 31937—2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. URL: <https://lidermsk.ru/documents/241/gost-31937-2011-zdaniya-i-sooruzheniya-pravila-obsledovaniya-i-monitoringa-tehnicheskogo-sostoyaniya>.

Предварительную оценку строительных конструкций проводят визуально-оптическим методом по внешним признакам. При этом на основании обнаруженных дефектов и повреждений проводят сравнение с разработанными для каждого вида конструкции и узла характерными признаками, указывающими на снижение несущей способности. Предварительный осмотр/оценка технического состояния позволяет составить программу инструментального обследования, оценить объем работ, цену, провести консультации с заказчиком до заключения договора [12].

Детальное инструментальное обследование начинается с контроля геометрических параметров, обмеров, измерения кренов, осадок, прогибов, ширины раскрытия трещин, площади повреждений, вскрытия, замеров прочности материалов и т. д. По результатам фактических измерений (если обнаружено отступление от проекта) проводят проверочные расчеты конструкций с учетом повреждений [13, 14]. Критерий — проектная прочность оцениваемой конструкции или (в отсутствии проекта) средняя прочность аналогичных конструкций на объекте. Оценивается состояние инженерных сетей и фактических условий эксплуатации (нагрузки, влажность, вибрации, функциональное назначение и т. д.) [15]. На этом этапе указываются точные категории технического состояния конструкций, оценивается прогноз развития деформаций, срок следующего обследования, тип восстановления и ремонта, разрабатываются рекомендации по усилению конструкций и безопасной эксплуатации объекта.

Техническое состояние объекта в целом устанавливается по категориям технического состояния его отдельных конструкций и инженерных сетей в зависимости от ответственности элемента, его влияния на прочность, жесткость, устойчивость, долговечность всего сооружения. Если не обнаружены аварийные или непригодные к нормальной эксплуатации конструктивные элементы, установленная категория технического состояния действительна до следующего планового срока обследования [11, 16].

Обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не реже одного раза в 10 лет и не реже одного раза в 5 лет для зданий и сооружений или их отдельных элементов, работающих в неблагоприятных условиях (агрессивные среды, вибрации, повышенная влажность, сейсмичность района 7 баллов и более и др.). Для уникальных зданий и сооружений устанавливается постоянный режим мониторинга. Но нет гарантии того, что в течение прошедших между обследованиями лет дефекты, относящиеся к категориям В или Б, которые не запрещают эксплуатировать здание, не перейдут по своим масштабам в категорию А.

Кроме того, в самом ГОСТ 31937—2011 даны общие формулировки, но нет конкретных критериев для оценки, исследователь решает вопрос по своему усмотрению. Это неправомерно, т. к. ГОСТ 31937—2011 является обязательным для исполнения и входит в соответствующий перечень документов, а остальные документы обязательными не являются. Это дает возможность в замечании на экспертизу написать: «Оценка технического состояния сделана не по ГОСТ 31937—2011, а по документу, не являющимся обязательным». И этому трудно что-либо противопоставлять, т. к. формально эксперт прав. Мы сталкиваемся с проблемой, когда суть обследования технического состояния здания сводится лишь к формальности.

Определение физического износа по ВСН 53—86р

Критерием оценки технического состояния здания в целом, его конструктивных элементов и инженерного оборудования является физический износ. В процессе многолетней эксплуатации конструктивные элементы и инженерное оборудование под воздействием физико-механических и химических факторов постоянно изнашиваются, снижаются их механические, эксплуатационные качества, появляются различные неисправности [17, 18].

Определение физического износа здания методом, изложенным в ведомственных строительных нормах ВСН 53—86р «Правила оценки физического износа жилых зданий»², сводится к следующему.

Величина износа определяется по видимым внешним повреждениям элементов. Данным методом пользуются при составлении технических паспортов на здания. Формула для расчета имеет вид:

$$I_{\text{физ}} = \sum_1^i (I_i \cdot УВ_i) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где I_i — величина физического износа i -го элемента в здании, определенная путем сравнения признаков физического износа, выявленных в результате визуального и инструментального обследования, с их значениями, приведенными в ВСН 53—86р; $УВ_i$ — удельный вес i -го элемента в здании; i — номер элемента.

Достоинства метода:

- относительно простая процедура расчетов;
- физический износ определяется по достаточно подробной методике, установленной нормативным документом;
- методика внушает доверие, что важно в ситуации, когда мнение эксперта, отраженное в техническом паспорте здания, и мнение оценщика в акте осмотра объекта оценки или в дефектной ведомости совпадают.

Недостатки метода:

- не самая высокая точность расчетов — $\pm 5\%$, т. е. субъективные мнения экспертов могут отличаться на величину, которая в ряде случаев является значительной при определении технического состояния здания в целом;
- от опыта оценщика зависит величина допущенной ошибки. Зачастую существенные повреждения основных элементов здания скрываются путем проведения косметического ремонта, это приводит к заниженной величине реального физического износа здания в целом;
- субъективный фактор. В таблице интервалу значений физического износа соответствует только один признак, и физический износ конструкции, элемента, системы или их участков следует принимать по интерполяции в зависимости от размеров или характера имеющихся повреждений. Характер этих повреждений разными экспертами может оцениваться по-разному. В одной ситуации повреждение оценивается как незначительное, в другой — может стать существенным.

² ВСН 53—86р. Правила оценки физического износа жилых зданий.
URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=66281>.

Сегодня происходят коренные изменения законодательства в сфере технического регулирования, в т. ч. в строительной отрасли. В 2003 г. был введен в действие федеральный закон «О техническом регулировании»³, обозначивший новые принципы и механизмы технического регулирования в сфере оборота конечной продукции.

Действующие нормы не в полной мере учитывают и регламентируют человеческий фактор, критические ошибки, вносимые участниками инвестиционного строительного процесса, зачастую являются причиной аварийных ситуаций. Усугубляет это переходный период, когда старая система регулирования безопасности постепенно отменяется, а новая еще не создана либо создается с существенным опозданием.

Подход к регулированию безопасности на различных этапах инвестиционного строительного процесса должен базироваться на методологии риска, что соответствует принятому и введенному в действие ФЗ «О техническом регулировании», определяющему требование безопасности через отсутствие недопустимого риска. На ранних этапах такое регулирование возможно через оценку будущего состояния объекта строительства, исходя из соответствия системы качества организаций — участников строительного процесса требованиям международных стандартов серии ISO 9000, получивших наибольшую степень доверия потребителей за рубежом и являющихся в своей реализации рыночным механизмом регулирования качества, надежности и безопасности конечной продукции.

Методической недоработкой следует считать отсутствие связи между ВСН 53—86р и ГОСТ 31937—2011, в котором указаны виды состояний: нормативное, работоспособное, ограниченно работоспособное и аварийное. Чтобы связать эти документы, нужно увязать категории технического состояния конструкций с процентами их физического износа. Желательно также пересмотреть ВСН по составу элементов зданий, т. к. за 30 лет появились новые материалы и конструкции, а также уточнить признаки количественной оценки повреждений с учетом новых исследований [19, 20].

Достичь полного исключения ошибок, источником которых выступает человек, практически невозможно. Однако снижение частоты проявления этих ошибок — вполне посильная задача. Необходимо модернизировать законодательство в строительной сфере, дополнить существующие строительные нормы техническим регламентом на величину риска аварии в формате, включающем в себя механизмы воздействия на производителей и собственников зданий в отношении обеспечения необходимого уровня конструкционной безопасности.

Моделирование физического износа

Для оценки физического износа жилых зданий помимо методов технического обследования целесообразно использование методов математического моделирования физического износа основных конструктивных элементов [21, 22].

³ Федеральный закон «О техническом регулировании», 27.12.2002 N 184-ФЗ.
URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241.

Физический износ зданий определяет эксплуатационную надежность и стоимость восстановительных работ, что является основой оценивания экономической целесообразности реконструкции зданий или сноса.

Физический износ жилых зданий можно аппроксимировать некоторой функцией $Y(t)$, динамически меняющейся во времени. Вид функции оценивается в зависимости от многих факторов:

текущий и капитальный ремонт;
техническая эксплуатация;
уровень воздействия динамических нагрузок на конструкции;
влияние техногенных процессов;
изменение геотехнического состояния оснований фундаментов;
старение материала конструкций под действием атмосферных воздействий [23].

В соответствии с ВСН 53—86р этот параметр определяется отношением стоимости ремонтных работ к полной восстановительной стоимости.

В зависимости от уровня капитальности зданий, воздействия на объект изменившихся нагрузок и реакции здания осуществляют текущие и капитальные ремонты, предусмотренные нормативными документами.

Математическое моделирование процесса физического износа может быть представлено в виде функции $Y(t)$, зависящей от:

внешних и внутренних воздействий G , имеющих постоянный характер во времени;

переменной $F(t)$, включающей процессы осадки зданий, старение и изменение физико-механических характеристик несущих и ограждающих конструкций;

инерции системы как произведение массы здания m на ускорение функции $\frac{d^2 Y}{dt^2}$;

трения системы, как произведения коэффициента трения $K_{тр}$ на скорость изменения состояния объекта $\frac{dY}{dt}$;

реакции здания, связанной со значением износа, который определяется долей восстановления при капитальном ремонте $s\delta(t)Y$ [23].

Процесс физического износа описывается дифференциальным уравнением, полученным С. А. Болотиным:

$$m \frac{d^2 Y}{dt^2} + K_{тр} \frac{dY}{dt} + s\delta(t)Y = G + F(t), \quad (2)$$

где s — коэффициент, учитывающий степень износа; $\delta(t)Y$ — время проведения ремонтно-восстановительных работ при степени износа Y .

Оценим влияние на интенсивность физического износа зданий текущего ремонта $s = 0$. В качестве внешних воздействий и реакции здания используем экспоненциальную зависимость осадок здания во времени. Тогда дифференциальное уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{dY}{dt} + wV = g \left(1 + fe^{-\frac{1}{x}} \right), \quad (3)$$

где w — частота проведения ремонтов; $V = \frac{dY}{dt}$ — скорость износа;

$f = \frac{F(t)}{G} \approx 1$ — отношение переменных параметров воздействия к постоянным; g — сила инерции объекта.

Тогда интенсивность физического износа может быть представлена зависимостью типа:

$$V = g \left[\frac{1 - e^{-wt}}{w} + f \frac{\tau \left(e^{-wt} - e^{-\frac{1}{x}} \right)}{1 - w\tau} \right], \quad (4)$$

где τ — постоянная времени для оценки экспоненциального уменьшения осадок фундаментов.

Для оценки интенсивности износа зададим параметры частоты текущих ремонтов. В зависимости от этого функция износа имеет различные степенные показатели $w\tau$, что определяет характер экспоненциальных кривых в зависимости от времени эксплуатации (рис. 2). В зависимости от условий технического обслуживания график износа будет иметь вогнутую или выпуклую форму.

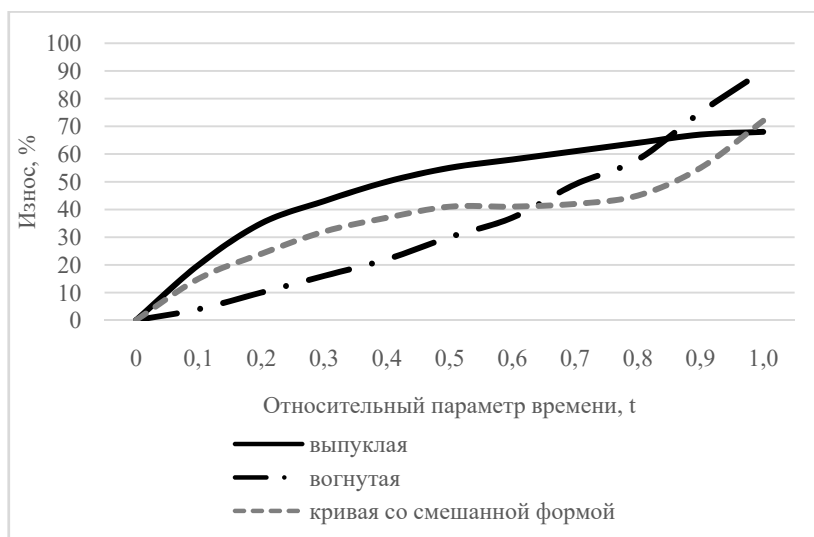


Рис. 2. Кривая износа жилых зданий в зависимости от продолжительности эксплуатации

Вогнутая форма кривой свидетельствует о более интенсивном износе в начальный период эксплуатации, а выпуклая — о стабилизации деформации зданий во времени и менее интенсивной потере эксплуатационных свойств.

В зависимости от влияния техногенных процессов и уровня восстановительных работ в период эксплуатации кривая интенсивности износа может иметь как выпуклую, так и вогнутую части, что свидетельствует о некоторой стабилизации эксплуатационной надежности в центральной части (кривая со смешанной формой) и более быстрой потере эксплуатационных свойств с увеличением параметра времени.

Представленные зависимости дают возможность качественной оценки состояния объектов. Для полной оценки физического износа требуется детальное обследование конструктивных элементов с использованием современных методик, аппаратуры и инженерного расчета остаточной несущей способности зданий как сложных строительных систем.

Имеется опыт реновации жилых микрорайонов в крупных мегаполисах России, в частности, в таких городах как Москва, Санкт-Петербург и др. в форме сноса с последующим возведением новых многоэтажных комплексов. Однако в связи со сложившейся экономической ситуацией в настоящее время считаем важным сохранять существующий жилой фонд, проводя реновацию без радикального сноса зданий. Необходима разработка новых методов реновации, которые бы удешевили и облегчили введение в эксплуатацию новых жилых площадей, повышая при этом долговечность, надежность, энергоэффективность и комфортность существующего жилого фонда. Количество нуждающихся в реновации жилых зданий огромное, а их техническое состояние позволит им служить еще долгие годы.

Выводы

1. Наибольшее количество эксплуатируемых жилых зданий в населенных пунктах ЦЧР РФ было возведено в период 1960—1989 гг. Основную массу в конструктивном исполнении представляют панельные жилые здания массовой застройки (так называемые «хрущевки»), составляющие более 70 % от их количества.

2. В ходе исследования параметров физического износа с помощью математического моделирования определены зависимости, позволяющие делать качественную оценку состояния зданий, по результатам которой можно обосновать техническую возможность и экономическую целесообразность разработки конструктивной модели реконструкции зданий массовой застройки без их сноса с возможностью сохранения и значительного улучшения качества существующих жилых площадей, подлежащих комплексной реновации.

3. Установлена закономерность интенсивности износа в зависимости от влияния техногенных процессов и уровня восстановительных работ в период жизненного цикла жилых зданий.

4. Предложены пути совершенствования ВСН 53—86р и ГОСТ 31937—2011 с позиции оценки категории технического состояния строительных конструкций и оценки их физического износа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л. А., Козлюк А. Г., Глаголев Е. С., Марушко М. В. К вопросу обследования технического состояния гражданских зданий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. № 7. С. 32—36.

2. *Беков А. М., Абсиметов В. Э.* Энергоэффективные здания. Термомодернизация фасадов здания // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: сб. материалов III международной (IX всероссийской) конференции. Чебоксары : ЧГУ им. И. Н. Ульянова, 2016. С. 453—458.
3. *Романович А. Н.* К вопросу обследования жилых зданий хрущевского типа // International scientific review. 2016. № 7(17). С. 30—32.
4. *Фетисов А. С., Антонов О. В., Анисимов К. Г.* Способы термомодернизации фасадов жилых зданий массовой застройки // XI международный молодежный форум «Образование, наука, производство». Белгород, 2019. С. 851—860.
5. *Дерина М. А.* Повышение тепловой эффективности малоэтажных гражданских зданий: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.01. Пенза, 2016. 20 с.
6. *Григоренко К. А., Петренева О. В.* Реконструкция домов первых массовых серий как способ увеличения полезной площади // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 1. С. 47—55.
7. *Булжаков С. Н.* Реконструкция жилых домов первых массовых серий и малоэтажной жилой застройки. М. : ГУП ЦПП, 2002. 260 с.
8. *Xinxin Z., Shangyang N., Maogang H., Jingfu W.* Energy-saving renovation of old urban buildings: a case study of Beijing // Case Studies in Thermal Engineering. 2021. Vol. 24. DOI: 10.1016/j.csite.2021.101632.
9. *Theokli C., Elia Ch., Markou M., Vassiliades C.* Energy renovation of an existing building in Nicosia Cyprus and investigation of the passive contribution of a BIPV/T double façade system: a case study // Energy Reports. 2021. Pp. 8522—8533. DOI: 10.1016/j.egy.2021.03.025.
10. *Zhydkova T., Chepurina S., Popova O., Chabanenko P.* Past centuries industrial architecture renovation methods // Technical Journal. 2018. Pp. 265—270. DOI: 10.31803/tg-20180519161402.
11. *Бойко М. Д.* Техническая эксплуатация зданий и сооружений: учеб. пособие для вузов. Л. : Стройиздат, 1979. 104 с.
12. Life cycle assessment for carbon emission impact analysis for the renovation of old residential areas / L. Xiaoyu, R. Mengyu, Zh. Jiahong, W. Zitao, G. Jian, G. Weijun // Journal of Cleaner Production. 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132930.
13. *Pardalis G., Mahapatra K., Mainali B.* Comparing public- and private-driven one-stop-shops for energy renovations of residential buildings in Europe // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 365. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132683.
14. *Lingqian W.* Comprehensive evaluation and analysis of low-carbon energy-saving renovation projects of high-end hotels under the background of double carbon // Energy Reports. 2022. Pp. 38—45. DOI: 10.1016/j.egy.2022.05.082.
15. *Кабжихов А. А., Бегиева Б. М.* Сложности при реконструкции жилых зданий старой постройки // Вопросы науки и образования. 2020. С. 63—66.
16. *Daneshfar M., Hartmann T., Rabe J.* An ontology to represent geospatial data to support building renovation // Advanced Engineering Informatics. 2022. Vol. 52. DOI: 10.1016/j.aei.2022.101591.
17. *Maksymov A., Halinskyi O.* Principled approaches to optimization of solutions for thermo-modernization of buildings // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2021. Pp. 52—55.
18. *Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O.* Renovation need for apartment buildings in Latvia // Magazine of Civil Engineering. 2016. Pp. 58—64. DOI: 10.5862/MCE.68.6.
19. Анализ реконструкции жилых зданий с учетом их жизненного цикла / А. Е. Степанов, Т. Н. Щелокова, А. А. Булавский, А. Н. Шебуняев, А. А. Сильванович // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5582>.
20. *Юшкова А. Н., Кузьмин А. Д.* Повышение энергоэффективности в жилых зданиях при реконструкции // E-Scio. 2019. № 4(31). С. 258—267.
21. *Деловая А. В.* Проблемы реконструкции жилых зданий ранних периодов постройки // Бюллетень науки и практики. 2020. С. 291—294.
22. *Szulc J., Piekarczyk A.* Diagnostics and technical condition assessment of large-panel residential buildings in Poland // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 50. DOI: 10.1016/j.job.2022.104144.

23. *Болотин С. А.* Системная постановка проблемы технической экспертизы зданий и сооружений. Моделирование и измерение процесса физического износа // *Недвижимость: экономика, управление*. № 2. М.: АСВ, 2002.

© *Абсиметов В. Э., Козлюк А. Г., Фетисов А. С., 2023*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Абсиметов В. Э., Козлюк А. Г., Фетисов А. С. Анализ состояния возведенного в 1960—1980-е годы жилого фонда в Центрально-Черноземном районе Российской Федерации для последующей разработки программы реновации // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 192—202.

Об авторах:

Абсиметов Владимир Эскендерович — д-р техн. наук, проф. каф. строительства и городского хозяйства, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В. Г. Шухова). Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46; absimetov57@mail.ru

Козлюк Анатолий Григорьевич — канд. экон. наук, доц. каф. строительства и городского хозяйства, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В. Г. Шухова). Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46; anatoly.kozliuk@gmail.com

Фетисов Александр Сергеевич — аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В. Г. Шухова). Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46; asfetisov@bk.ru

Vladimir E. Absimetov, Anatoly G. Kozlyuk, Aleksandr S. Fetisov

Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov (BSTU)

ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE HOUSING STOCK BUILT IN THE 1960—1980 IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR THE SUBSEQUENT DEVELOPMENT OF THE RENOVATION PROGRAM

The article is devoted to the renovation of large-panel housing construction in the Central Chernozem region of the Russian Federation. A quantitative and qualitative analysis of the housing stock of the region under consideration is given. The shortcomings of existing methods of inspection of buildings are revealed, and modeling of physical wear of objects of large-panel housing construction is also considered.

Key words: renovation, reconstruction, thermal modernization, reliability, durability, physical wear, housing stock.

For citation:

Absimetov V. E., Kozlyuk A. G., Fetisov A. S. [Analysis of the condition of the housing stock built in the 1960—1980 in the Central Chernozem region of the Russian Federation for the subsequent development of the renovation program]. *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. 5, pp. 192—202.

About authors:

Vladimir E. Absimetov — Doctor of Engineering Sciences, Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov (BSTU). 46, Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; absimetov57@mail.ru

Anatoly G. Kozlyuk — Candidate of Economic Sciences, Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov (BSTU). 46, Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; anatoly.kozliuk@gmail.com

Aleksandr S. Fetisov — Postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov (BSTU). 46, Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; asfetisov@bk.ru

УДК 728.1.012.1

Н. В. Иванова, О. А. Ганжа

Волгоградский государственный технический университет

ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ВЕЛОТРАСС

Обоснован методический подход к принятию проектного решения по размещению экологических трасс с целью использования устойчивым транспортом, позволяющим снизить уровень негативного воздействия на окружающую среду в процессе дорожного движения (выбросы, отходы и шумовое воздействие) и обеспечить доступность (мобильность) для удовлетворения транспортных потребностей горожан. Выбран и применен метод анализа иерархий, позволяющий принять решения по выбору оптимального варианта размещения велосипедных дорожек в системе улично-дорожной сети.

Ключевые слова: велосипедные дорожки, улично-дорожная сеть, городское планирование уличных дорог, метод анализа иерархий.

Введение

Цель работы — исследование вариантов расположения велодорожек на улицах разных категорий улично-дорожной сети (УДС) в условиях устойчивого развития города и разработка методики выбора оптимального решения развития местной сети велосипедных маршрутов. Важным направлением работы явилась разработка структурной модели, позволяющей провести выбор варианта размещения велосипедных трасс в системе УДС и рекреационных зонах в условиях устойчивого развития города.

Используя аналитический метод системного анализа — метод анализа иерархий (МАИ), можно осуществить выбор проектного решения с учетом различных факторов, которые учитываются при размещении инфраструктуры экологически чистого транспорта.

Решены следующие **задачи**:

- обобщен теоретический и практический опыт строительства веломаршрутов в России и за рубежом;
- проведены обобщение и анализ исходного материала;
- разработана структурная модель по выбору вариантов размещения велодорожек на примере линейной структуры прибрежного города;
- выполнено экспериментальное проектирование на территории улиц Волгограда.

Материалы и методы

В работе применены методы системного анализа, математического моделирования, проведена прогнозная оценка изменения состояния городской среды с учетом проектирования велосипедных трасс на улицах города.

Предложенная структурная модель использована в разработке проектных предложений строительства велодорожек для улиц Волгограда (местная, городская, парковая), предоставляющих жителям и гостям города более привлекательный, здоровый и экономически менее затратный вариант передвижения к месту работы, учебы, отдыха и развлечений.

Проектирование сетей инфраструктуры велосипедной мобильности рассмотрено с разных точек зрения: проанализированы участки улиц, полосы движения, факторы, влияющие на скорость движения, схемы передвижения [1]. Установлено, что участки трасс для движения велосипедов и отдельные сети велодорожек, обладающих большей безопасностью, комфортом или запоминающейся окружающей застройкой, чаще выбирались жителями [2, 3]. Фактор размещения велосипедных сетей вблизи мест отправления и назначения пользователей значительно влияет на повышенный спрос на велосипеды [4].

Значительная роль в исследованиях отведена оптимизации планировочной инфраструктуры велодорожек, позволяющей поддерживать диапазон скоростей в интервале 20...30 км/ч, делающий движение на велосипеде удобным видом транспорта, особенно при сравнении со скоростью пешехода (4 км/ч) [5].

В последнее время исследователи стали высказывать мысли о проектировании велосипедных сетей без учета их влияния на другие виды транспорта (частные автомобили) [6]. Авторы, анализируя документы по планировке территории городов, отмечают, что велосипедные дорожки прокладываются на дорогах и тротуарах, что влияет на размещение сети. В этом случае велосипедная дорожка, размещенная в границах городской улицы, может быть включена в городскую велосипедную сеть [7, 8].

Устойчивое развитие современного города поддерживается развитием и совершенствованием транспортной системы, в которой инфраструктура экологически чистого транспорта с хорошими велосипедными дорожками, оптимизированными для безопасности, начинает повсеместно занимать значимое место [9—12]. Транспортные системы в функциональном зонировании городских территорий существуют для обеспечения социальных и экономических связей, и городское население быстро овладевают средствами повышения мобильности [13]. Транспортные системы оказывают значительное воздействие на окружающую среду, на них приходится 20...25 % мирового потребления энергии [14] и выбросов загрязняющих веществ: оксида углерода, оксида азота, углеводородов, альдегидов, соединений тяжелых металлов, пыли, сажи. Выбросы парниковых газов от транспорта растут быстрее, чем в любом другом энергетическом секторе. Автомобильный транспорт является также одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, образования смога на территориях крупных городов и мегаполисов.

Современный термин «устойчивый транспорт» является логическим продолжением понятия «устойчивое развитие». В исследованиях ряда авторов данный термин используется для описания различных видов транспорта и систем транспортного планирования, приводятся основные принципы устойчивой транспортной системы [14, 15]:

- обеспечение доступности и удовлетворение потребностей граждан, компаний и общества надежными средствами передвижения без ущерба здоровью человека и экосистемам, установление принципа справедливости как внутри социальных групп и поколений, так и между ними;

- доступность по средствам, четкая и эффективная работа, выбор видов транспорта, поддержка конкурентоспособности экономики, сбалансированность регионального развития;

- минимизация выбросов и отходов с учетом возможности их поглощения экосистемой, использование возобновляемых ресурсов на уровне или ниже темпа их восстановления, использование невозобновляемых ресурсов на уровне или ниже темпов развития возобновляемых заменителей, сведение к минимуму негативных воздействий на окружающую среду (загрязнение, шумовое, тепловое, электромагнитное, вибрационное воздействия).

На современном этапе развития городов транспортная система претерпевает существенное изменение: изменяется планировка городских территорий и транспортная связь между ними, увеличивается мобильность городского населения, растет уровень автомобилизации. В экологическом аспекте воздействие транспорта может быть уменьшено за счет улучшения системы пешеходного и велосипедного движения на городских территориях.

В социальном аспекте отмечено положительное влияние велодвижения на продление человеческой жизни, на качество жизни городского населения. Решаются некоторые проблемы здравоохранения, а инвестирование частных компаний, местных органов власти в поощрение физической активности и устройство велосипедных дорожек в планировочной структуре городских территорий считается эффективным с экономической точки зрения [16], несомненным является повышенное внимание градостроителей к проектированию велотрасс и формированию комфортной среды при трансформации городов в Smart City.

Более 120 лет назад завершилось строительство первой в мире девятикилометровой дорожки Coney Island Cycle Path в Нью-Йорке (США, 1894 г.). В настоящее время известны примеры создания сетей из 10 велосипедных магистралей вокруг 9 крупнейших городов в Норвегии с целью уменьшения влияния транспортной инфраструктуры на экологию региона [17], десятикилометровой протяженной магистрали, дороги которой соединят 10 западных городов Рурского региона (Германия). Как считают специалисты, «велобан» разгрузит транспортную систему региона, снизив трафик автомобильного движения до 50 000 единиц ежедневно [18].

Исследования, проведенные на примере крупных городов (Москва, Сан-Пауло), показывают, что реформирование транспортной системы со строительством велодорожек становится способом снижения заторов на дорогах, выбросов и загрязнения атмосферного воздуха [19].

Обзор теории и практики строительства и эксплуатации велосипедных дорожек показывает, что улучшение развивающихся видов транспорта жизненно важно для расширения доступа к экономическим возможностям, улучшения экологии города, решения социальных проблем здравоохранения и туризма. Это делает велосипед привлекательным и доступным для многих людей. В градостроительном плане решаются вопросы транспортной велосипедной связи между соседними населенными территориями, однако обоснование системы внутригородского велодвижения и создание программы выбора оптимального решения при размещении велодорожек на улицах разных категорий не получило достаточного распространения.

Эксперимент проведен в г. Волгограде, для которого характерен резко континентальный климат (низкие зимние и высокие летние температуры, достигающие до +50 °С, частые суховеи и пыльные бури в летний период). Городская застройка располагается вдоль р. Волги. Город имеет линейную планировочную структуру. В целях проведения исследования выбрано несколько категорий улиц: местные, районные (общегородские) и парковые (54 % — трассированные вдоль реки; 40 % — в поперечном направлении; 6 % — другие направления), которые сформировали велосипедную сеть. Она охватывает город по наиболее востребованным направлениям: нагруженные транспортные магистрали; внутренние связи историко-архитектурных памятников; рекреационные зоны и досугово-развлекательные центры; объекты приложения труда и университетские городки (ВолгГТУ, ВолГУ, техникумы, колледжи, гимназии). Предпроектный анализ выбранных улиц включает:

- натурное обследование (с фотофиксацией);
- изучение поперечных профилей улиц с выявлением резервных территорий для возможного расположения велодорожек;
- уточнение конструкций полос и дендрологического состава озеленения;
- сбор сведений об интенсивности и характере транспортного и пешеходного потоков;
- наличие электротранспорта (наземного и подземного трамваев);
- функциональной принадлежности прилегающей застройки и мест озеленения.

Собранные данные систематизированы, результаты их анализа положены в основу предложений по расположению велодорожек.

В градостроительном проектировании велосипедных трасс рассматриваются варианты их расположения в планировочной структуре города, типология велосипедных дорожек, учитываются транспортно-планировочные параметры УДС, пешеходное передвижение и мобильность городского населения в структуре города. Принятие решения по выбору оптимального варианта размещения велосипедной дорожки в системе УДС является заключительным этапом в процессе проектирования. Выбор метода принятия решения по размещению и благоустройству велосипедной дорожки на объектах УДС или в рекреационной зоне проводится с использованием аналитического метода — МАИ [14, 20, 21]. Этот метод применен автором в [16] при исследовании влияния транспортного шума на формирование акустической среды в зоне пересечений, в частности, при разработке структурной модели для оценки и адекватного отбора группы значимых факторов, влияющих на уровень шума.

Метод состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и в дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решение (ЛПР) по парным сравнениям. В результате описывается интенсивность взаимодействия элементов в иерархии, затем суждения выражаются численно. Этот метод включает процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений.

На первом этапе выявляются наиболее важные элементы проблемы, на втором — наилучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки

элементов, следующим этапом становится выработка способа применения решения и оценка его качества. Применение математической модели позволяет оценить результаты принятия решений и их последствия. Процесс поиска оптимального решения проводится по иерархическому принципу: результаты, полученные на одном из уровней, используются в качестве входных данных для другого уровня. МАИ систематизирует процесс решения такой многоступенчатой задачи [20—22].

Основой для моделирования процесса являются принципы идентичности и декомпозиции, принципы дискриминации, сравнительного суждения и синтеза [20, 21]. Основные этапы МАИ:

- 1) формулируется цель, которая и определяет проблему;
- 2) определяются критерии отбора оптимальных вариантов решения;
- 3) генерируются альтернативы, выбирается некоторое множество альтернатив (объектов) для последующей оценки.

После проведения декомпозиции проблема выбора разделяется на 3 иерархических уровня. Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий всех элементов нижестоящего уровня [22—24]. После иерархического описания проблемы в виде структурной схемы устанавливаются приоритеты значений критериев, оценивается каждая из альтернатив с учетом всех критериев. В качестве объектов для проведения анализа выбраны: автомобильная дорога, бульвар, набережная, парк.

Иерархическое представление модели оценки группы факторов построено с вершины (устанавливается цель с точки зрения управления) через промежуточные уровни к самому низкому уровню, который является перечнем альтернатив — объектов городской среды, на которых рассматриваются варианты размещения велосипедных дорожек.

В модели создана полная динамическая иерархия, в которой каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня (рис. 1).

С целью реализации принципов дискриминации и сравнительных суждений сравниваются попарно элементы задачи с помощью матрицы сравнений. Для проведения субъективных парных сравнений применяется классическая шкала сравнительной важности [20, 22, 23].

Следующим этапом реализации методики является процедура синтеза векторов локальных приоритетов. Из группы матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, которые выражают относительное влияние множества элементов, на каждый элемент примыкающего сверху уровня. Используя известные методы аналитического планирования, можно получить столбец относительных значимостей (или же собственные вектора приоритетов) каждого критерия системы относительно всех остальных критериев [20, 24]. Последним этапом анализа является применение процедуры синтеза интегральных векторов приоритетов. Локальные векторы приоритетов перемножаются на приоритеты соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует этот элемент. Эта процедура дает глобальный вектор приоритета элемента.

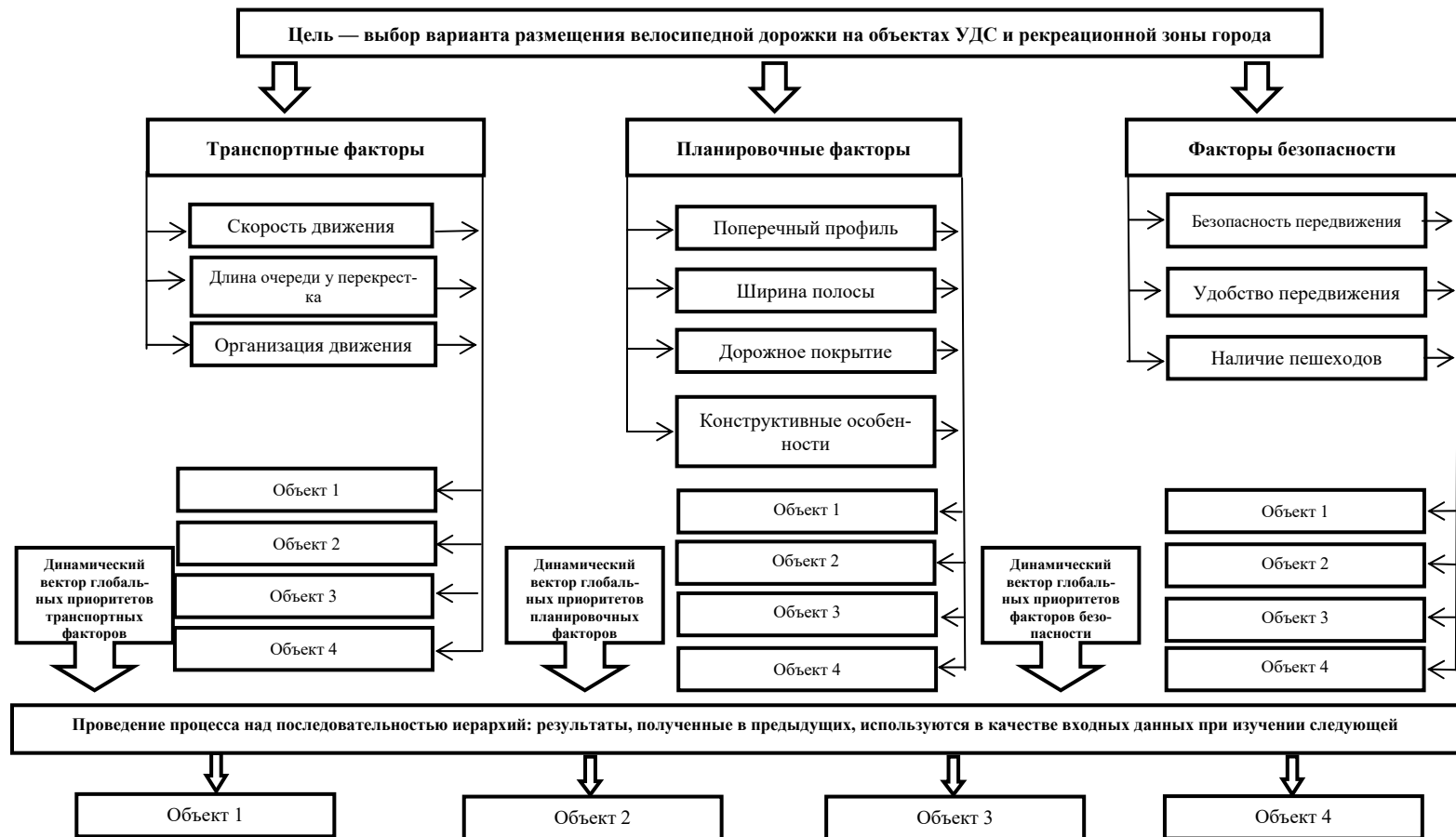


Рис. 1. Структурная модель проведения процедуры выбора варианта размещения велосипедной дорожки на объектах УДС и рекреационной зоны города

Результаты

Определен способ количественного сравнения важности качественных факторов с применением МАИ, что особенно значимо для тех факторов, влияющих на выбор варианта размещения велосипедной дорожки на городской территории, которые практически не подвергаются количественной оценке.

Проектная задача рассмотрена и решена для городской территории Волгограда в рамках общей задачи по изменению схемы движения общественного транспорта и обеспечению комфортных условий передвижения населения в городе с уникальной линейной планировочной структурой и протяженностью вдоль р. Волги около 100 км.

В результате проведения натуральных обследований, наблюдений и математических расчетов получены количественные и качественные оценки параметров каждой группы факторов. Построенная иерархическая модель включает 3 уровня, каждый из которых разбит на субуровни (см. рис. 1). В модели создана динамическая иерархия, в которой каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня. В результате проведения анализа получено 14 матриц суждений, у которых оценена степень влияния компонентов группы факторов — транспортных, планировочных и факторов безопасности: на субуровне 2.1 — 3 критерия оценки планировочных факторов; на субуровне 2.2 — 4 критериев оценки транспортных факторов; на субуровне 2.3 — 3 критерия оценки факторов безопасности и 4 типа объектов размещения велодорожек, которые попарно сравнивались по каждому из критериев.

Правильность полученных характеристик, а также качество рассуждений, их логическая законченность оценены по величине индекса согласованности (ИС) [10], характеристике матрицы рассуждений L_{\max} и отношения согласованности (ОС), значение которого не превышает 10 % ИС [10, 13]. Вектора интегральных приоритетов по транспортным, планировочным и факторам безопасности, вычисленные по каждому из 4 типов рассматриваемых объектов, явились данными для составления матриц парных отношений значимостей по критериям группы факторов на уровне 2 и 3 иерархии. Обработка векторов проведена в среде Microsoft Excel, что позволило ранжировать исследуемые объекты (см. таблицу).

*Интегральный показатель влияния группы факторов
 на выбор варианта размещения велосипедной дорожки
 на объектах уличной дорожной сети и рекреационной зоны города*

Объекты размещения велодорожек	Оценка группы факторов, оказывающих влияние на выбор варианта размещения велосипедной дорожки	
	интегральные приоритеты	ранг
Автомобильная дорога	0,516	1
Бульвар	0,185	4
Набережная	0,271	2
Парк	0,203	3

Проведенная оценка факторов показала, что оптимальным вариантом размещения велосипедной дорожки является автомобильная дорога в границах пересечения улиц общегородского и районного значения (ранг 1) и набережная (ранг 2), группа транспортных и планировочных факторов в наибольшей степени оказывает влияние на выбор варианта размещения велосипедной дорожки (рис. 2).

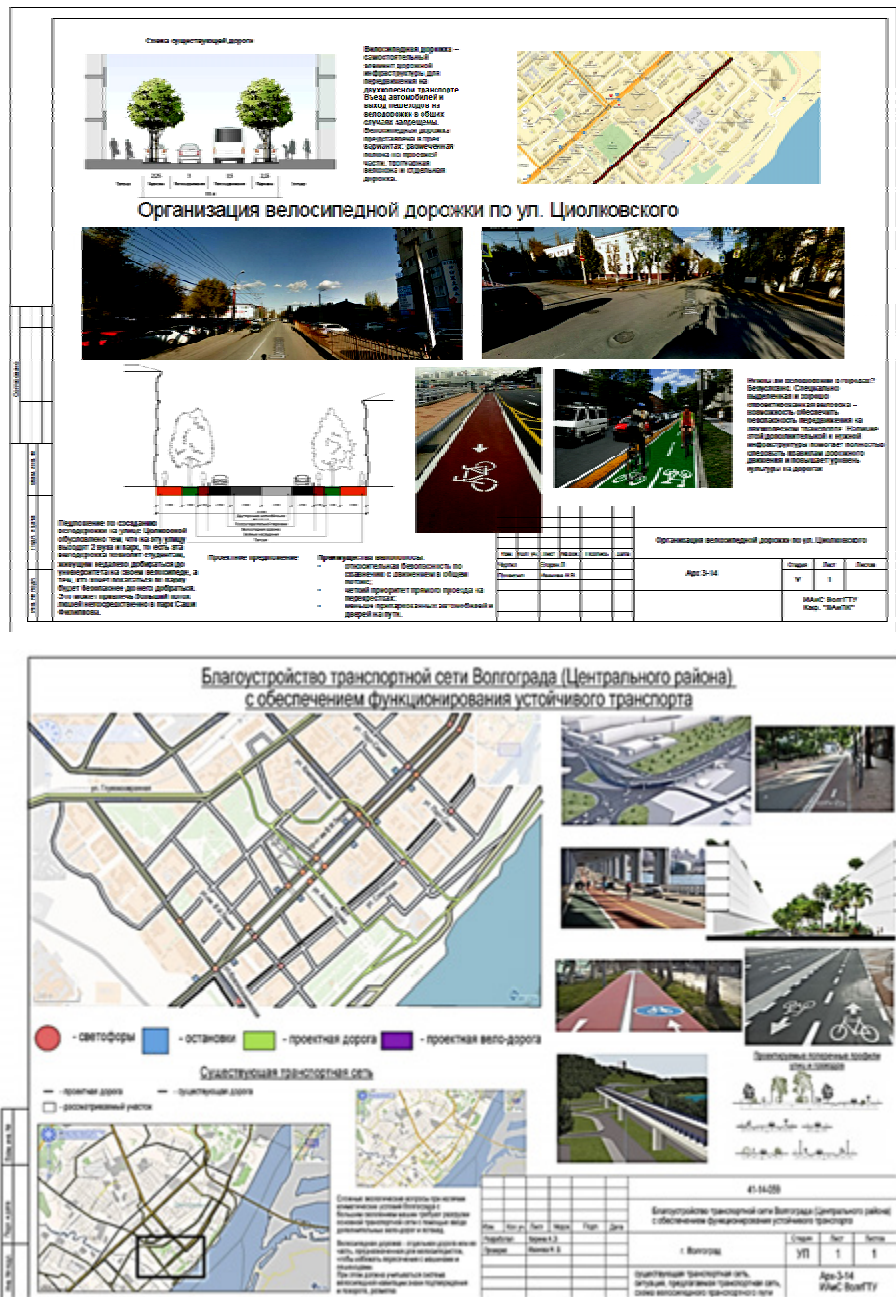


Рис. 2. Проектные варианты размещения велосипедных дорожек на улицах Волгограда

Выполнено экспериментальное проектирование расположения велосипедных дорожек по наиболее загруженным трассам города (на примере улиц Ворошиловского и Центрального районов г. Волгограда).

Предложенный метод оценки группы факторов универсален и легко применим на практике, может быть основой для предварительного отбора факторов и определения математических зависимостей [25].

Выводы

1. Обобщен теоретический и практический опыт строительства велосипедных маршрутов в России и за рубежом.

2. Предложена методика выбора оптимального решения развития местной велосипедной сети маршрутов с использованием метода анализа иерархий.

3. Разработана структурная модель по выбору вариантов размещения велодорожек на примере линейной структуры прибрежного города

4. Выполнено экспериментальное проектирование на территории улиц Волгограда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Konstantinidou M., Spyropoulou I.* Factors affecting the propensity to cycle — the case of Thessaloniki // *Transportation Research Procedia*. 2017. No. 24. Pp. 123—130.
2. *Gutiérrez M., Hurtubia R., Ortúzar J. de D.* The role of habit and the built environment in the willingness to commute by bicycle // *Travel Behaviour and Society*. 2020. No. 20. Pp. 62—73.
3. *Ospina J. P., Duque J. C., Botero-Fernández V., Montoya A.* The maximal covering bicycle network design problem // *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2022. No. 159. Pp. 222—236.
4. Short-term planning and policy interventions to promote cycling in urban centers: Findings from a commute mode choice analysis in Barcelona, Spain / L. M. Braun, D. A. Rodriguez, T. Cole-Hunter, A. Ambros, D. Donaire-Gonzalez, M. Jerrett, M. A. Mendez, M. J. Nieuwenhuijsen, A. de Nazelle // *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2016. No. 89. Pp. 164—183.
5. *Félix R., Cambra P., Moura F.* Build it and give 'em bikes, and they will come: The effects of cycling infrastructure and bike-sharing system in Lisbon Case Stud // *Transport Policy*. 2020. Vol. 8. Iss. 2. Pp. 672—682.
6. *Duthie J., Unnikrishnan A.* Optimization framework for bicycle network design // *Journal of Transportation Engineering* 2014. Vol. 140. Iss. 7. Pp. 04014028.
7. *Hamre A.* Urban Bikeway Design Guide // *Journal of Planning Education and Research*. 2016. Vol. 36. Iss. 2. DOI: 10.1177/0739456X16644795.
8. *Buehler R., Dill J.* Bikeway networks: A review of effects on cycling // *Transport Reviews*. 2016. Vol. 36. Iss. 1. Pp. 9—27.
9. *Хайдуков Д. С., Тасалов К. А.* Основы обеспечения устойчивого развития городской агломерации // *Материалы XIV международной конференции МГУ «Государственное управление в XXI веке»*. М. : Университетская книга, 2017. С. 783—789.
10. *Немцев И. А.* Зеленое строительство: экопоселения в концепции устойчивого развития // *Урбанистика*. 2014. № 3. С. 8—25.
11. *Шиллер П., Бруун Э., Кенворти Дж.* Введение в экологически чистый транспорт: политика, планирование и внедрение. Лондон, Вашингтон : Earthscan, 2010. 342 с.
12. *Хойт Э.* Развитие велосипедной инфраструктуры лучше повлияет на безопасность велосипедистов, чем шлемы. URL: <https://velomesto.com/magazine/v-mire/razvitie-velosipednoj-infrastruktury-luchshe-povliyaet-na-bezopasnost-velosipedistov-chem-shlemy>.
13. *Шафер А.* Глобальное требование моторизованной мобильности // *Исследование транспорта*. 1998. No. 32. Pp. 455—477.
14. *Caillé A., Al-Moneef M., Barnés de Castro F.* Transport Technologies and Policy Scenarios to 2050. World Energy Council, 2007. 144 p.
15. *Мохит Б.* Велосипедные дорожки — важная инвестиция в общественное здравоохранение: результаты исследования. URL: <https://velomesto.com/magazine/v-mire/velosipedny-dorozhki-vazhnaya-investiciya-v-obshestvennoe-zdravoohranenie-rezultaty-issledovaniya>.

16. Норвегия потратит почти миллиард долларов на строительство велосипедных магистралей. URL: <https://velomesto.ru/magazine/v-mire/norvegiya-potrati-pochti-milliard-dollarov-na-stroitelstvo-velosipednyh-magistralej>.
17. *Теннес М.* В Германии открыт первый отрезок «автобана» для велосипедистов. URL: <https://velomesto.ru/magazine/v-mire/v-germanii-otkryt-pervyj-otrezok-avtobana-dlya-velosipedistov>.
18. Реформирование городского транспорта — путь к очищению воздуха и снижению выбросов. URL: <https://velomesto.ru/magazine/ekologiya/reformirovanie-gorodskogo-transporta-put-k-ochisheniyu-vozduha-i-snizheniyu-vybrosov>.
19. *Gelb P.* Apparicio Cyclists' exposure to air and noise pollution, comparative approach in seven cities // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2022. Vol. 14. 100619.
20. *Саати Т. Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. М. : КД ЛИБРОКОМ, 2009. 360 с.
21. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование: организация систем. М. : Радио и связь, 1991. 224 с.
22. *Ганжа О. А.* Оценка шумового воздействия в зонах к городским транспортным пересечениям на геоэкологическую среду города: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2009 г. 239 с.
23. *Ганжа О. А.* Оценка факторов, оказывающих влияние на уровень шума в зоне городских транспортных пересечений в одном уровне // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2007. Вып. 7(26). С. 239—243.
24. *Салугин А. Н.* Введение в системный анализ: компьютерные основы принятия решений. Волгоград : ВолгГАСА, 2002. 107 с.
25. *Ivanova N., Ganzha O.* Methodical approaches in town-planning design of street circuits in the conditions of sustainable development of the city // *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport — EMMFT 2017*. Vol. 90. P. 6. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012130.

© *Иванова Н. В., Ганжа О. А.*, 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Ганжа О. А. Планирование городских территорий с учетом развития системы велотрасс // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2023. Вып. 5(93). С. 203—213.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. архитектуры, проф., проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

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

PLANNING OF URBAN AREAS TAKING INTO ACCOUNT THE DEVELOPMENT OF THE CYCLE TRACK SYSTEM

The article substantiates a methodological approach to making a design decision on the placement of eco-friendly routes in order to use sustainable transport, which allows reducing the level of negative environmental impact during road traffic (emissions, waste and noise impact) and ensuring accessibility (mobility) to meet the transport needs of citizens. The authors selected and applied the method of hierarchy analysis, which allows making decisions on choosing the optimal option for placing a bicycle path in the system of the road network.

Key words: bicycle paths, street-road network, urban planning of street roads, hierarchy analysis method.

For citation:

Ivanova N. V., Ganzha O. A. [Planning of urban areas taking into account the development of the cycle track 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. 5, pp. 203—213.

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 711.455

Н. А. Ястребова, И. Н. Етеревская

Волгоградский государственный технический университет

РЕКРЕАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОТЕНЦИАЛ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ КЛАСТЕРОВ

Рассмотрены основные особенности существующей системы рекреационного комплекса Волгоградской области, исходя из ее функционального состава и планиметрических особенностей распределения природных ресурсов по территории. Проведен анализ ресурсного потенциала рекреационного комплекса Волгоградской области с позиций поиска альтернативных видов рекреации, направленных на популяризацию уникального этнокультурного слоя области — казачьих исторических поселений. Сформулировано предложение по кластеризации территориальных компонентов рекреационного комплекса области путем объединения объектов территории в рекреационные кластеры по тематическим видам рекреационно-туристических услуг от комплексного спектра до узкопрофильных или уникальных ресурсов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: территориальный рекреационный комплекс, ресурсы, кластер.

Волгоградская область (ВО) относится к региональным субъектам РФ, где структура расселения сильно поляризована и крайне неравномерна. Волгоградская агломерация территориально расположена на юге области, тогда как основная масса населенных мест размещена в пространственной развилке природной и транспортно-инфраструктурной систем — между руслами рек Волги и Дона и их водоразделами, а также рядом с федеральными трассами. Федеральная трасса М6 (Волгоград — Москва) и региональные трассы (Волгоград — Саратов, Волгоград — Ростов-на-Дону) закрепляют моноцентричный характер системы расселения. Заполнение «пустот» между опорными центрами ВО также обусловлено, прежде всего, природными комплексами малых рек водосборного бассейна Дона: Хопра, Медведицы, Бузулука и «генетической памятью» освоения территории [1].

Современное состояние сферы туризма ВО можно охарактеризовать как активно развивающееся. В структуре туристского потока порядка 90 % прибытий приходится на граждан России¹. Основную часть в общем туристском потоке составляют организованные школьные группы и студенты из субъектов РФ. Наблюдается тенденция к увеличению в общем объеме туристического потока семейных туристов² [2]. Также одним из главных сегментов целевой аудитории являются потомки участников Сталинградской битвы и Великой Отечественной войны, приезжающие, чтобы почтить память погибших героев. Транзитные туристы стали целевой аудиторией рекреационных комплексов Волгоградской области в связи с расположением на территории региона трех автомобильных дорог федерального и регионального значения.

¹ О координационном совете по развитию внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации: постановление правительства РФ от 21.11.2015 г. № 1253. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420317330>.

Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011—2018 гг.): постановление правительства РФ от 02.08.2011 г. № 644. URL: <http://www.consultant.ru>.

² Там же.

Основу рекреационного потенциала ВО составляет сочетание ее уникальных природно-антропогенных комплексов. Рекреационный туризм в ВО представлен не только санаторно-курортными организациями, но и туристическими базами [3]. Общее количество специализированных учреждений отдыха составляет сегодня 120 единиц. Большая часть всех видов рекреационного туризма сконцентрирована в непосредственной близости к Волгоградской агломерации и практически полностью локализуется в границах Волго-Ахтубинской поймы. Это, прежде всего, парк Волго-Ахтубинская пойма и прилегающие к основным внутриводным протокам разрозненные локальные туристические базы, отели и гостевые дома с кемпингами. Чтобы ослабить рекреационные потоки, которые формируются в местных системах расселения, и уменьшить антропогенные нагрузки на природные комплексы парка в пойме, в настоящее время появилась идея создания «отвлекающих территориальных рекреационных систем-фильтров» на наиболее напряженных направлениях, подводящих местные кратковременные рекреационные потоки ко входам в природный парк. В роли подобного фильтра предлагается градостроительное освоение о. Сарпинский. Более отдаленными в территориальном плане от областного центра являются ранее сформированные, но территориально разрозненные и иногда труднодоступные элементы рекреационного комплекса области вдоль берега р. Дон и его основных притоков.

Одним из универсальных с точки зрения полифункционального наполнения видами рекреаций является г. Калач-на-Дону. Традиционно Калачевский район стал лидером по количеству объектов сезонной рекреации (охота и рыбалка), благодаря наличию уникальных природных комплексов и водных объектов как природного, так и антропогенного происхождения. Калач-на-Дону со своей историей более трехсотлетнего существования на просторах Волго-Донского междуречья приобретает значимость как малая жемчужина в маршрутах культурологического регионального туризма. Уникальный проект «Петровская набережная», разработанный студентами ИАиС в 2022 г., также направлен на повышение привлекательности города как благоустроенного поселения на берегу Дона. Наличие и сохранность мест боевой славы на территории являются базой для его вовлечения во вновь формирующуюся территориально-экономическую систему «Территория побед» [4]. Уникальная мемориально-историческая составляющая кластера позволяет раскрыть мировое событие не просто через знание основных дат и фактического материала, а через восприятие его персонифицированных мест и эпохальных событий. Дополнительным и важным преимуществом Калача-на-Дону как опорного центра областной рекреации является близость стратегически важных дорог, которые обеспечивают его транспортную доступность для автотуристов.

Следующим направлением пространственного развития для территориально-экономической системы «Территория побед» является диагональное направление, связывающее областной центр со станицей Качалинская, что добавит данному комплексу историческую глубину, ведь первым оборонительным форпостом на территории области стала Царицынская сторожевая линия, до сих пор существующая в виде ландшафтно-исторического объекта. Возрождение ее компонентов — знаменитой земляной крепости близ х. Грачи в форме звезды — станет неотъемлемой частью исторических реконструкций, а также поспособствует появлению новых «точек роста» на локальном

уровне, т. к. значительную долю целевой аудитории составляют внутререгиональные туристы, которые, по данным организаций туристской индустрии, все чаще предпочитают туры выходного дня к достопримечательностям и на событийные мероприятия в границах региона.

Старейшие православные обители Волгоградской области — Усть-Медведицкий Спасо-Преображенский женский монастырь, Кременско-Вознесенский мужской монастырь, Каменно-Бродский Свято-Троицкий мужской монастырь, Гусевский Ахтырской Божией матери женский монастырь, Дубовский Свято-Вознесенский женский монастырь, Свято-Духов мужской монастырь составляют основу *религиозного* направления туризма [5].

В последнее время перспективными и развивающимися видами туризма в регионе являются *этнографический и событийный* туризм, что обусловлено многонациональностью и наличием большого числа различных этнических культур на территории Волгоградской области: малые города северо-западной и западной части территории области являются чаще всего историческими поселениями *донских казаков* — станицами с их патриархальным укладом и представлениями о жизни. Интерес представляют как сами поселения, так и их территориальная локализация: среди них до сих пор нет крупных поселений, а сами они образуют сетчатую структуру из ландшафтно-адаптивных планиметрических поселений [6].

В рамках учебно-исследовательской деятельности в 2019 г. подготовлена уникальная работа по исследованию планировочных особенностей этнических казачьих поселений. При работе с архивами и планметрическими схемами поселений выявлены основные параметры казачьих поселений:

майдан — площадь, расположенная в центре станицы, которая являлась местом общественных сборов, собраний;

храм — культовое строение, обычно прилегающее к майдану, либо расположенное вдоль главной улицы поселения (например, Воскресенская церковь, расположенная вдоль улицы Октябрьская, г. Серафимович);

линейная система главных улиц — улица, вдоль которой располагались богатейшие здания станиц, магазины, лавки, гостиницы, административные корпуса (атаманские);

природный ландшафт — основные элементы: зона берегового обрыва, естественный рельеф, река, степная растительность [7].

В широком спектре этнокультурного слоя уникальных и мало освоенных рекреационных направлений ВО находится и ее археологическое наследие. Проведена классификация 52 памятников археологии, определены 8 сохранившихся памятников для включения в протяженную архитектурно-градостроительную экспозицию археологического наследия ВО. В области существуют все виды археологических памятников (поселенческие, погребальные, ритуально-культовые, одиночные артефакты). Большинство памятников находится в неудовлетворительном состоянии за счет природных и антропогенных факторов воздействия: транспортная удаленность от основных трасс, отсутствие материально-технической инфраструктуры и иных элементов. В настоящее время объекты археологического наследия территории не пригодны для их активного вовлечения в рекреационный бизнес.

Приведенный выше обзор ресурсов рекреационного комплекса ВО позволяет утверждать, что высокая степень концентрации тематических видов рекреации и устойчивые схемы территориальной привязки объектов туристической инфраструктуры предполагает возможность развития рекреационного комплекса области как единой взаимосвязанной пространственной системы с локальной специализацией [8]. Возможно, что пассивная констатация факта уже существующих взаимодействий внутри рекреационного комплекса лишь отдаленно напоминает классическое понятие «кластер» с его уникальными характеристиками [9, 10].

Вместе с тем процесс кластеризации по территориально-ландшафтному принципу (на основе крупнейших или уникальных природных комплексов) неизбежен вследствие поиска идентичности каждого крупного регионального объекта РФ. Исходя из данности процессов, можно отметить следующие особенности развития рекреационно-туристического комплекса ВО:

1) туристическо-рекреационная зона Волго-Ахтубинской поймы уже представляет собой прото-кластер экологического туризма, обладающий разнообразием ландшафтов и природных форм. В перспективе возможно сохранение природных территорий не столько путем ограничения отдыха, сколько с помощью продуманной организации туристического комплекса: комфортабельные турбазы, зоны кемпинга;

2) Донскую гидрографическую сеть (бассейн р. Дон и его основных притоков) можно отнести не только к природному кластеру, но к сезонному туризму, на данной территории хорошо развиты рыбалка и охота;

3) озеро Эльтон представляет сразу несколько кластеров развития туризма: природный, лечебный и этнокультурный;


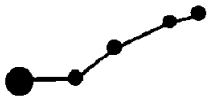
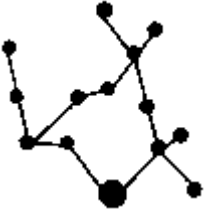

4) «экологический пояс» области формируется на базе уже существующих заповедников и заказников: Щербаковский и Усть-Медведицкий парки, Арчедино-Донские пески и иные малые уникальные объекты: «ведьмины пески», меловые горы и др.;

5) военно-исторический туристический аспект области сосредоточен, главным образом, в самом городе-герое Волгограде. Огромное количество мемориальных комплексов, посвященных Великой Отечественной войне, стали брендом областного центра и делают его прото-кластером в данной тематике.

Критериями (помимо наличия природных комплексов), на основе которых были предложены территории для последующего формирования полифункциональных центров областной рекреации, являются наличие природных или иных ресурсных объектов, составляющих градо-экологический потенциал территории ВО: инфраструктурный потенциал (дороги с твердым покрытием, транспортная доступность иным транспортом — железнодорожным, малой авиацией); наличие или отсутствие информационной и технической инфраструктуры на пути следования и в пунктах назначения; наличие объектов для проживания и их тип (капитальность). Историко-культурный потенциал территории также важный, но менее ресурсо-обеспеченный аспект развития подцентров областной рекреации: казачество и национальные особенности; агротуризм; религиозный или конфессиональный туризм-паломничество; общекультурный туризм (археологические памятники и уникальные места на территории ВО).

Если обычно кластерный подход это, прежде всего, — новая управленческая технология, позволяющая повысить конкурентоспособность как отдельного региона или отрасли, так и государства в целом, то в приложении к территориальному планированию это — схемы территориальной локализации [11—13]. Поэтому комплексный анализ позволил выявить следующие типы территориального распределения объектов рекреационного комплекса в границах ВО, представленные в таблице.

Типы территориального распределения объектов рекреационного комплекса

Типы территориального распределения	Схематическое обозначение
Локальный — специализация на одном типе туризма, например Серафимович, Урюпинск, Эльтон и др.	
Линейный — специализация секторальная, несколько территорий, объединенные общим принципом. Например, вся зона рекреации Калачевского района образует разомкнутую кольцевую систему. Практически во все места можно проехать на личном автотранспорте. Однако зона левобережья не предусмотрена для такого передвижения, там только пешеходные маршруты	
Сетевой — место концентрации разнообразных типов туристическо-рекреационных комплексов. Например, Волгоградская агломерация	
Диффузный	

На основании обобщенного анализа размещения существующих туристическо-рекреационных объектов ВО в системе ее природно-антропогенного комплекса предложены следующие принципы градостроительной организации рекреационных зон (в перспективе — кластеров) в структуре рекреационного комплекса области [14]:

1. Принудительная поляризация или принцип управляемой дискретности, что в контексте уже существующего прото-кластера в зоне влияния Волгоградской агломерации, ее рекреационной зоны Волго-Ахтубинской поймы и ближайшего полукольца по периметру агломерации означает стратегическое планирование и организацию развития туристической индустрии с учетом определенных целевых направлений и задач. Применительно к планировочным аспектам концептуального планирования этот принцип предполагает разделение туристической инфраструктуры на дискретные элементы;

для эффективного функционирования кластера важно выделить различные части туристической инфраструктуры, такие как гостиницы, рестораны, достопримечательности, развлекательные центры и другие объекты. Это позволит точнее определять и управлять каждым элементом, учитывая его специфические потребности и ограниченный потенциал природных комплексов. Для компонентов данного рекреационного прото-кластера характерна высокая плотность антропогенных компонентов, находящихся внутри либо непосредственно примыкающих к природным комплексам. Методом реализации принципа в планировании является условие сохранения разрывов между объектами рекреации, требования к объектам планировкам — их локальность и компактная структура.

2. Экологическая устойчивость и приоритетность природного ландшафта для вновь создаваемых рекреационных мест сезонного туризма, в основе чего лежат уникальные природные комплексы территории. Все архитектурные решения таких рекреационных объектов должны подчиняться окружающей природе, подчеркивая особенности пойменно-дельтовых ландшафтов. Необходимо разработать функциональное зонирование и спроектировать сеть объектов отдыха и туризма на основе комплексного анализа исследуемой территории. Рекомендуется развивать наименее ценные районы с помощью компактного размещения объектов отдыха и туризма, чтобы минимизировать антропогенное воздействие на уникальные природные территории с живописными ландшафтами и обилием водоемов [15, 16].

3. Расширенное «горизонтальное» освоение — попытка прогнозирования «точек роста» рекреационных объектов, связанных с освоением новых видов и типов рекреации (расширение перечня «сценариев рекреации») на территориях, удаленных от существующей дорожно-транспортной инфраструктуры;

4. Формирование «поперечных осей» — логическое развитие второго принципа, связанное с формированием поперечной оси в относительно неосвоенной рекреационной «срединной» зоне ВО. К этим территориям относятся, прежде всего, природные комплексы Донского водосборного бассейна (рр. Арчеда, Иловля, Бузулук и др.) и сеть населенных мест, находящихся в Волжско-Донском междуречье. Наиболее перспективной осью развития является Михайловка — Ольховка (Каменный Брод) — Камышин.

Территория области, определенная как «срединная зона», на данный момент не имеет четких границ и требует дальнейшего изучения и конкретизации. Однако этот термин можно использовать для обозначений территорий с редкими или крайне разреженными локальными объектами рекреационного назначения. Также можно отметить, что на данной территории слабо развита транспортная инфраструктура, но есть предпосылки для ее развития.

Методом материализации принципа «поперечных осей» является мобильная планировка для возможных точек роста, т. е. использование в новых рекреационных местах (особенно в границах ООПТ) легко перемещаемых и трансформируемых рекреационных объектов при организации отдыха и туризма. Применение мобильной архитектуры и рекреационных сооружений из легковозводимых конструкций позволит поочередно освобождать ценные территории от антропогенной нагрузки. Мобильные объекты можно легко перемещать из районов, где существует опасность нарушения природного комплекса, в более стабильные зоны, регулируя плотность размещения.

5. Естественная «полиморфность» рекреационных ресурсов — переход от физического состояния процесса прогнозирования (концептуального проектирования) к ментальному процессу усвоения информации в процессе потребления этих рекреационных ресурсов. Содержание данного принципа базируется на понимании уникальности территории области и максимально широком спектре рекреационных сценариев, существующих и генерирующих новые опорные центры рекреации вне традиционных мест отдыха. Появление полного спектра объектов рекреации на территории ВО возможно путем постоянного мониторинга состояния природно-антропогенных рекреационных комплексов. Методом реализации принципа является метод «поточности» информации. Мультимедийные технологии и средства позволяют экспонировать и воссоздать археологическое наследие путем голограмм и 3D моделирования, не разрушая его при этом, что является наиболее безопасным. Метод сценарного моделирования способствует раскрытию аутентичности мест рекреации и их художественно-эстетической выразительности (Камышин и сезонный фестиваль арбузов, ст. Качалинская и осенние конные состязания, Урюпинск и Праздник козы). Материализация принципа отражается в графических начертаниях туристического пешеходного маршрута в границах планировки населенного места. Информационная доступность данных об объектах культурного наследия, их границах и уникальных персонифицированных данных в планировке малых городов ВО является необходимым условием наполнения смыслами пешего въездного туризма, призванного раскрыть уникальность нашей области и его исторические традиции. Архитектурная среда малых и средних городов с их историческими корнями представляет локальные объекты территориальной структуры рекреационного комплекса ВО.

С учетом вышеперечисленных 3 базовых элементов рекреационного комплекса области можно выделить в ее структуре основные планиметрические модели кластерного типа:

- радиальная модель как сложная планиметрическая структура. Сюда входят Волгоградская агломерация с ее подковообразной рекреационной зоной и расположенные в полуторачасовой (двухчасовой) транспортной доступности областные опорные локальные рекреационные центры: Волжский — Калач-на-Дону — Дубовка;
- линейная модель с привязкой к локальным и часто изолированным планиметрическим объектам рекреационного комплекса территории. В качестве примера может быть представлена цепь локальных рекреационных объектов вдоль берега Дона в Калачевском районе Волгоградской области: Калач-на-Дону — ст. Голубинская — Цимлянские пески — х. Вертячий;
- наиболее сложным вариантом территориальной локализации рекреационных объектов является смешанная модель, в основе которой лежит сочетание линейных моделей, но со слабой степенью инфраструктурной связности.

Таким образом, процесс сбора данных, аналитическое проектирование с формированием концепции развития туристических кластеров ВО с последующим выбором для них планиметрической схемы имеет не менее важное значение, чем экономическая составляющая любого кластера. В свою очередь, направление концептуального территориального планирования может предоставить значительные возможности для научно-обоснованного выявления «точек роста» в уже сформированном рекреационном территориальном комплексе Волгоградской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ястребова Н. А.* Особенности расселения и перспективы развития исторических городских поселений Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 221—230.
2. *Porter M. E.* The Competitive Advantage of Nations. London : Macmillan, 1990. 855 p.
3. *Сафонова А. А., Самарина В. П.* Методика изучения пространственного туристического кластера // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-1. С. 220—225.
4. *Бабкин А. В.* Специальные виды туризма. М.: Советский спорт, 2018. 208 с.
5. *Канищев С. Н., Солодовников Д. А., Золотарев Д. В.* Рекреационное природопользование на территории Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги: метод. рекомендации по нормированию рекреационных нагрузок и оценке состояния природных комплексов. Волгоград : Царицинская полиграфическая компания, 2012. 120 с.
6. *Селиванова Н. В., Ястребова Н. А.* Планировочные особенности станиц Усть-Медведицкая и Усть-Хоперская как типичных военно-казачьих поселений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 184—193.
7. *Ястребова Н. А.* Градостроительное зонирование как вид научной деятельности в системе охраны территориальных объектов культурного наследия // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2019. Вып. 3(76). С. 185—195.
8. *Roelandt T., Den Hertog P.* Cluster Analysis and Cluster-Based Policy Making in OECD Countries: An Introduction to the Theme OECD Boosting Innovation: The Cluster Approach. Vol. 1. Paris : OECD, 1999. P. 9.
9. *Валеева С. В.* Развитие концепции кластерного подхода в туризме // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2016. № 1(334). С. 116—130.
10. *Ушаков Д. С.* Технологии въездного туризма. М., Ростов-н/Д : MapT, 2019. 383 с.
11. *Solvell O.* Clusters: Balancing Evolutionary and Constructive Forces. Stockholm : Ivory Tower, 2008. 55 p.
12. *Van Den Berg L., Braun E., Van Winden W.* Growth Clusters in European Cities: An Integral Approach // Urban Studies. 2001. Vol. 38. Iss. 1. Pp. 185—205.
13. *Public-Private Sector Cooperation: Enhancing Tourism Competitiveness* // World Tourism Organization Business Council. Madrid : WTO, 2000. P. 71.
14. *Huybers T., Bennett J.* Cooperation and Competition in Tropical North Queensland's Nature-Based Tourism Industry // Australian Agribusiness Review. 2000. No. 8. P. 17.
15. *The Cluster Consortium Strategy in Action Report.* Johannesburg, 1999. P. 327.
16. *Machiavelli A.* Tourist Destinations as Integrated Systems // Tourism Review. 2001. Vol. 56. Iss. 3-4. Pp. 6—11.

© Ястребова Н. А., Етеревская И. Н., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Ястребова Н. А., Етеревская И. Н. Рекреационный комплекс Волгоградской области: региональные особенности и потенциал территориального развития кластеров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 214—222.

Об авторах:

Ястребова Наталья Александровна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; yas_na71@mail.ru

Етеревская Ирина Николаевна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-9268-9903

Natalia A. Yastrebova, Irina N. Eterevsckaya

Volgograd State Technical University

**RECREATIONAL COMPLEX OF THE VOLGOGRAD REGION:
REGIONAL CHARACTERISTICS AND POTENTIAL
FOR TERRITORIAL CLUSTER DEVELOPMENT**

The article considers the main specific properties of the recreational complex of the Volgograd region based on its functional composition and plan metric features of the distribution of natural resources on the territory of the Volgograd region. The resource potential of the recreational complex of the Volgograd region is analyzed from the perspective of finding alternative types of recreation, aimed at promoting a unique ethno-cultural layer of the region: Cossack historical settlements.

К е y w o r d s: territorial recreation complex, resources, cluster.

For citation:

Yastrebova N. A., Eterevsckaya I. N. [Recreational complex of the Volgograd region: regional characteristics and potential for territorial cluster development]. *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. 5, pp. 214—222.

About authors:

Natalia A. Yastrebova — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yas_na71@mail.ru

Irina N. Eterevsckaya — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9268-9903

УДК 711.5

И. В. Черешнев, Н. В. Черешнева, Л. И. Черешнев

Волгоградский государственный технический университет

**ФОРМИРОВАНИЕ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
НА ПРИМЕРЕ БЛАГОУСТРОЙСТВА ПРОСПЕКТА ПИОНЕРОВ
И СКВЕРА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ
В ГОРОДЕ ПЕТРОВ ВАЛ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Статья посвящена анализу результатов реализации национального проекта «Жилье и комфортная городская среда». На примере проекта — победителя всероссийского конкурса исследуются методика разработки концептуального решения проекта.

Ключевые слова: комфортная городская среда, национальный проект, концепция, общественное пространство.

Современная урбанизация определила новый вектор развития многих стран мира. Наиболее очевидной особенностью этого развития можно считать неуклонный рост численности населения городов. Согласно исследованиям ООН, к 2050 г. большая часть населения планеты будет проживать в крупных и крупнейших городах. Для России этот прогноз имеет особое значение, т. к. в большинстве регионов можно наблюдать активное движение миграционных потоков из субъектов в центральные города [1].

Процессы современной урбанизации создали необходимость исследования уровня благоустройства городов. Учитывая сложившиеся обстоятельства, 7 мая 2018 г. издан указ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [1]. На основании данного указа Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ разработан *индекс качества городской среды* для анализа благоустройства городского пространства и качества его окружающей среды. Оценка городов проводилась по таким критериям, как состояние жилых и общественных пространств, наличие озеленения, качество улично-дорожной сети, а также безопасность, комфортность и др. По результатам оценки составлен рейтинг городов России с благоприятной и неблагоприятной окружающей средой. К сожалению, из 1114 городов России благоприятными считаются только 256, что составляет 23 % от общего числа. Больше всего городов с неблагоприятной средой относится к группе малых городов, что может свидетельствовать о невозможности повышения качества городской среды в силу отсутствия на это средств из местного бюджета¹ [2].

В результате проведенных исследований меняется отношение к проблемам формирования городской среды. Создание и поддержание комфортных условий для проживания в городах становится важной государственной задачей, решение которой приобретает особое социально-экономическое значение. Для реализации поставленных задач разработан целый комплекс всевозможных программ, направленных на повышение комфортности проживания

¹ Результаты оценки качества городской среды : официальный портал / Индекс качества городской среды. URL: <https://индекс-городов.рф/#>.

в городах. При этом предусматривается развитие принципиально новых подходов к организации комплексного благоустройства городских территорий. Одно из главных условий формирования проектов благоустройства — активное взаимодействие с населением, вовлечение граждан в организацию и реализацию программ, общественный контроль за проведение мероприятий. Кроме того, предлагается развивать различные направления взаимодействия населения городов с территориальными органами государственного и муниципального управления [3, 4].

Для решения поставленных задач с учетом накопленного опыта реализации указанных мероприятий в составе национального проекта «Жилье и городская среда» утвержден федеральный проект «Формирование комфортной городской среды». Приоритетный проект предусматривал софинансирование благоустройства из федерального бюджета в масштабах всей страны. В его рамках в течение 2 лет на всей территории России реализовывались мероприятия по системному повышению качества городской среды.

Целью федерального проекта является повышение индекса качества городской среды на 30 %, сокращение количества городов с неблагоприятной средой в 2 раза. Федеральным проектом предусмотрено предоставление субъектам Российской Федерации федеральной субсидии на условиях софинансирования. По информации Минфина России, в 2019—2024 гг. общий объем средств федерального бюджета, выделяемых в рамках федерального проекта, будет составлять 287,8 млрд руб. [1, 5].

Всероссийский конкурс лучших проектов создания комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях проводится по поручению Президента России с 2018 г. За этот период победителями конкурса стали 240 проектов². Ежегодно из федерального бюджета выделялось 5 млрд руб., которые распределялись среди 80 победителей.

В 2020 г. на конкурс представлен 301 проект от 76 регионов РФ. Победителями стали 160 проектов. Призовой фонд на четвертый и последующие конкурсы увеличен с 5 до 10 млрд руб. Соответственно средства на реализацию проектов смогут получить вдвое большее число участников³. От Волгоградской области на конкурс направлено 5 проектов. По итогам конкурса 4 из них оказались в числе победителей. Это проекты от городов: Урюпинска в категории «Малые города» в подгруппе от 20 до 50 тыс. чел., Николаевска, Палласовки, Петрова Вала в категории «Малые города» в подгруппе 20 тыс. чел.

² Запущен Всероссийский конкурс лучших проектов создания комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях: официальный портал /zen.yandex.ru. URL: <https://zen.yandex.ru/media/vsmsinfo/zapuscen-vserossiiskii-konkurs-luchshih-proektov-sozdaniia-komfortnoi-gorodskoi-sredy-v-malyh-gorodah-i-istoricheskikh-poseleniiah-5db9dace1ee34f00aeabbe2c> (2.12.2020).

³ Подведены итоги конкурса благоустройства малых городов и исторических поселений : официальный портал // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2020/09/02/reg-pfo/podvedeny-itogi-konkursa-blagoustrojstva-malyh-gorodov-i-istoricheskikh-poselenij.html>.

Прием заявок на участие во Всероссийском конкурсе лучших проектов создания городской среды 2021—2022 годов продлен до 1 июля]: официальный портал /strategy24.ru. URL: <https://strategy24.ru/ru/news/priem-zayavok-na-uchastie-vo-vserossiyskom-konkurse-luchshikh-proektov-sozdaniya-gorodskoy-sredy-20212022-godov-prodlen-do-1-iyulya>.

Для того чтобы стать победителем, проект, поданный для участия в конкурсе должен удовлетворять ряду критериев⁴:

- степень и разнообразие форм участия граждан, социокультурное программирование территории;
- обоснованность выбора места, востребованность, синхронизация проекта с национальными проектами и иными государственными и муниципальными программами;
- сохранение историко-градостроительной и природной среды;
- прогнозируемые экономические и социальные эффекты;
- качество планировочных и архитектурных решений.

Немаловажное значение для победы проекта в конкурсе занимает такой важный аспект проектного процесса, как разработка концепции. Концепция должна отразить наиболее характерные составляющие истории формирования и современного социально-экономического развития городского поселения. Особенности формирования основных аспектов концепции конкурсных проектов всероссийского конкурса предлагается рассмотреть на примере разработки одного из проектов-победителей под названием «Проспект Пионеров и Сквер железнодорожников», разработанного для г. Петрова Вала Волгоградской области.

Городское поселение Петров Вал расположено на левом берегу р. Иловли (приток Дона) в 185 км от Волгограда, в 14 км северо-западнее районного центра г. Камышина Волгоградской области. Образует городское поселение Петров Вал железнодорожная станция Приволжской железной дороги. Население города на начало 2020 г. составляло 12 500 чел.

Участок территории проектирования находится в центральной части города и объединяет основные общественные пространства городского значения, расположенные в границах ул. Ленина, пр-та Пионеров, ул. Рихарда Зорге, ул. 30 лет Победы. Весь участок проектирования включает в себя 2 типа общественных пространств — проспект и сквер.

Проспект Пионеров является главным функционально-планировочным и композиционным элементом города. Линейная структура проспекта объединила в себе основные общественные, историко-культурные и торговые объекты. Сквер, расположенный между пр-том Пионеров и ул. Рихарда Зорге, представляет собой участок незастроенной и неблагоустроенной территории, через которую проходит транзитная пешеходная связь между пр-том Пионеров и ул. Рихарда Зорге.

Предпроектные исследования территории объекта проектирования позволили выявить целый ряд проблем: малое количество различных видов досуга; отсутствие функциональной организации территории; отсутствие места для проведения культурно-массовых мероприятий.

В тоже время исследование городских пространств позволило определить достоинства данной территории: наиболее востребованное место в городе — пешеходная доступность для большей части населения; хорошая транспортная доступность; близость к центру города.

Таким образом, тщательный анализ архитектурно-планировочных особенностей объекта позволили сформулировать концепцию проекта благоустройства пр-та Пионеров и сквера Железнодорожников.

⁴ Всероссийский конкурс 2020 (2021—2022) лучших проектов создания городской среды. О конкурсе : официальный портал / konkurs.gorodsreda.ru. URL: <https://konkurs.gorodsreda.ru/>.

В ходе ретроспективного анализа выявлены основные исторические аспекты, определившие специфику данного поселения. В истории г. Петрова Вала можно обозначить два из них, послуживших основой для разработки концептуального решения.

Первый аспект касается исторических событий, повлиявших на выбор названия городского поселения Петров Вал. События эти связаны с масштабной попыткой соединения Волги и Дона в XVII в., предпринятой по личному указанию Петра I. Строительство Петровского канала не увенчалось успехом. Однако сооруженные валы канала сохранились до нашего времени. Сегодня этот ландшафт является памятником истории, объектом культурного наследия федерального значения.

Вторым аспектом, определившим выбор направления развития концептуальных решений проекта, являются события, связанные со строительством Волжской рокады, предназначенной для снабжения войск, принимавших участие в Сталинградской битве. Железнодорожная станция появилась в 1942 г., получив название — Петров Вал. В настоящее время Петров Вал является крупным железнодорожным узлом Приволжской железной дороги. Железнодорожная станция Петров Вал является градообразующим предприятием, на котором работает значительная часть населения города.

Анализируя символические смыслы этих двух аспектов концепции проекта, хочется выделить схожие формы их организации. При организации как водных транспортных путей, так и железнодорожных объединяющим является обеспечение связи между городами, жителями этих городов, их культурными и историческими традициями. В связи с чем предложено в основу пространственного образа формируемой среды городского пространства положить такое понятие как «путь». Путь является связующим звеном, организующим движение между двумя или более пунктами назначения. Путь означает одновременно и место, и поведение.

Пространство проектируемой территории формируется по образу железнодорожного путепровода, соединяющего «станции» городского пространства — бульвара, сквера, площади, отдельных пространственных зон. На этом принципе построено функциональное зонирование проектируемого участка городской среды. Территория пр-та Пионеров и сквера Железнодорожников рассматривается как связующее звено города, обеспечивающее доступность объектов общественного обслуживания, рекреационных пространств, значимых мест истории и культуры (рис. 1, 2).

Станция Памяти

Пространство создано на месте привокзальной площади, которое выступает своего рода входным порталом в город, в связи с чем должно стать наиболее презентабельным и благоустроенным. На привокзальной площади предполагается разбить сквер. Доминирующим элементом этого пространства является мемориальный комплекс, созданный на месте братской могилы советских воинов, погибших во время Сталинградской битвы. В обновленном сквере будут организованы 3 новые аллеи, на пересечении которых располагается стела мемориального комплекса и декоративный цветник. На территории сквера предлагается: мощение дорожек, установка скамеек и урн, уличного освещения (рис. 3).

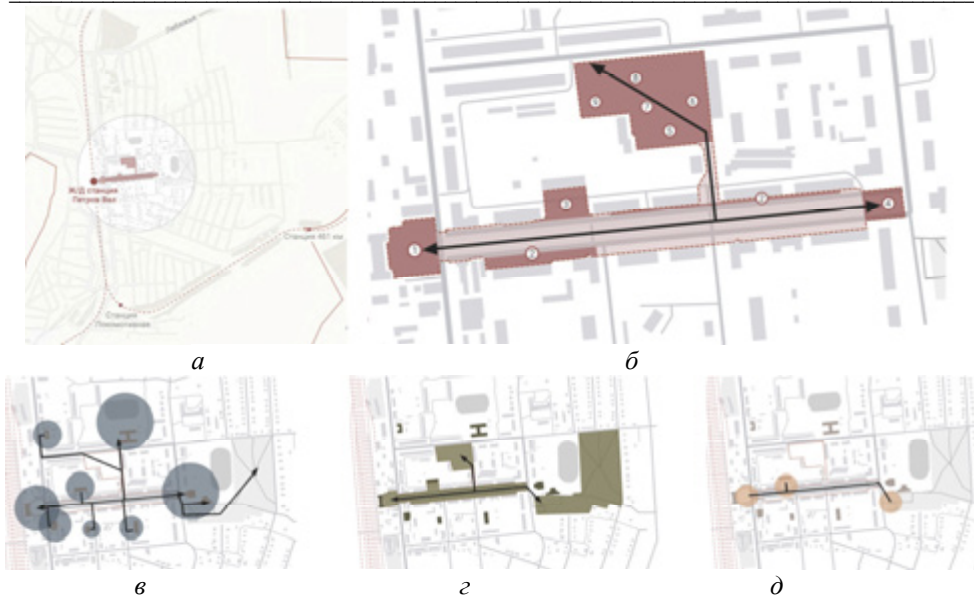


Рис. 1. Целеполагание и обоснование концепции при разработке проекта благоустройства: *а* — ситуационный план; *б* — схема реализации концепции на территории благоустройства; *в* — схема обеспечения связи общественных пространств; *г* — схема обеспечения связи рекреационных пространств; *д* — схема обеспечения связи историко-культурных объектов

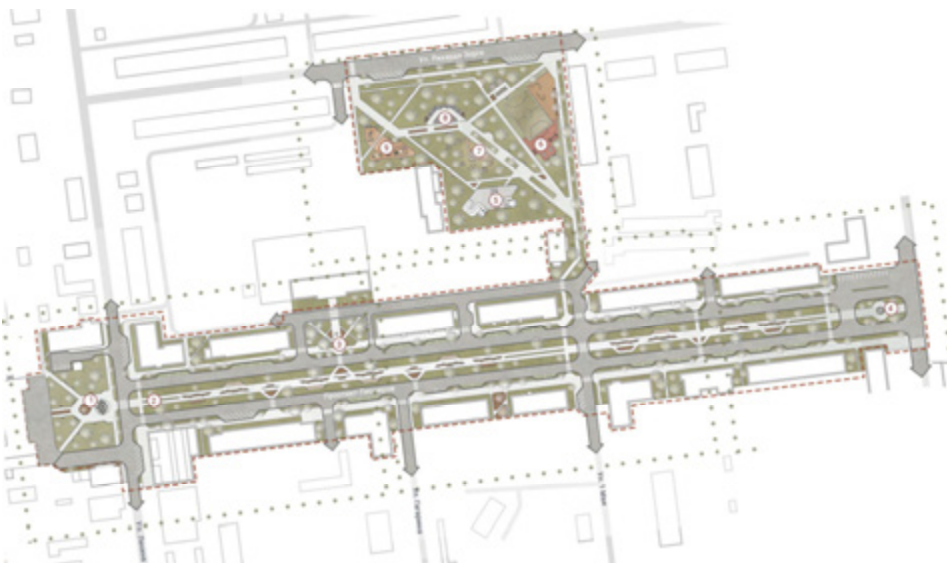


Рис. 2. Генеральный план: 1 — мемориал Великой Отечественной войне «Станция Памяти»; 2 — городской рынок «Станция Торговая»; 3 — памятник погибшим в горячих точках «Станция Патриотическая»; 4 — площадь перед городским Домом культуры «Станция Творчества»; 5 — скейтплощадка «Станция Активная»; 6 — спортивная зона «Станция Спортивная»; 7 — место тихого отдыха с водоемом «Станция Отдыха»; 8 — амфитеатр «Станция Театральная»; 9 — детские игровые комплексы «Станция Детства»



Рис. 3. Визуализации проектных решений: *а* — благоустройство привокзальной площади «Станция памяти»: 1 — организованная парковка; 2 — стена памяти; 3 — пешеходный переход; 4 — места отдыха; *б* — амфитеатр в сквере «Станция Театральная»: 1 — места для маломобильных групп населения; 2 — сухой фонтан

Станция Торговая

Данная зона представляет собой единую пространственную структуру, состоящую из различных объектов торговли и сферы услуг. Расположение данной зоны определяется наличием торговых площадей, находящихся в первых этажах двух-пятиэтажных жилых зданий пр-та Пионеров, а также торгового комплекса городского рынка. Размещение этой функциональной зоны проектируемой территории является наиболее удобным не только для значительной части жителей города, но и для гостей и туристов, прибывающих на железнодорожную станцию Петров Вал. Даже кратковременная остановка пассажирского поезда позволит путешественникам посетить доступные объекты сферы торговли и общественного питания. Кроме того, на прилегающей территории могут устанавливаться дополнительные пункты продаж в период проведения ярмарок и иных городских мероприятий. Такое торговое пространство создается, в т. ч., и для привлечения малого бизнеса.

Станция Патриотическая

Площадка данной функциональной зоны размещается в озелененном пространстве сквера, расположенного напротив здания детского сада. Главным пространственным элементом выступает памятник погибшим в горячих точках.

Станция Творчества

Данное пространство формируется вблизи городского Дома Культуры. Площадь и прилегающее пространство является излюбленным местом горожан для проведения главных творческих мероприятий города — концертов, выставок, выступления детских и молодежных творческих коллективов, занимающихся в кружках и секциях городского ДК.

Станция Активная

Функциональная зона является элементом планировочной структуры сквера Железнодорожников. Основным пространственным элементом этой зоны является скейтплощадка для занятий экстремальными видами спорта. Предназначено это пространство для молодежи, предпочитающей активный образ жизни.

Станция Спортивная

Спортивная зона является одной из зон, формирующих пространственную структуру сквера Железнодорожников. Площадка оборудована спортивными уличными тренажерами и полем для спортивных игр, которое в зимнее время переоборудуется в каток.

Станция Отдыха

Пространство, предназначенное для тихого отдыха. Композиционным центром зоны тихого отдыха является декоративный водоем, вокруг которого рассредоточены лавочки и шезлонги для отдыха.

Станция Театральная

Зона является центром сквера Железнодорожников. Располагаясь на пересечении главных аллей сквера, она представляет собой площадку, специально оборудованную для проведения различных культурно-массовых мероприятий, конкурсов и фестивалей, активного отдыха. Для этого здесь создан небольшой амфитеатр, который может использоваться для сценических выступлений, проведения городских мероприятий и лекционных мастер-классов. В период, когда не планируются массовые мероприятия, площадка может использоваться как место отдыха. В центре площадки встроены сухой фонтан, который в жаркие летние дни позволит создать комфортные условия для отдыха. Зимой на месте расположения сухого фонтана планируется установка Новогодней елки.

Станция Детства

Зона детского досуга состоит из 2 площадок для детей разных возрастных групп. Оборудование предусматривается в виде игрового комплекса «Вокзал». Площадка стилизована под объекты, связанные с железнодорожным транспортом. Комплекс игровых элементов, предназначенных для игр детей младшего возраста. Игровые элементы комплекса должны способствовать физическому и интеллектуальному развитию ребенка, а также развивать воображение и любовь к родному городу. Нестандартные игровые элементы делают игру более увлекательной и изобретательной.

Бульвар и сквер должны способствовать более активному взаимодействию различных групп населения. Основная часть зон проектируемой территории рассчитана на многофункциональное использование, что предоставляет возможность различным городским сообществам эксплуатировать одни и те же площадки в разное время суток. В зависимости от сезона эти площадки могут менять назначение и оформление. Планируемые на проектируемой территории мероприятия делают их интересным для горожан и приезжих в любое время года.

Выводы

Таким образом, результаты проводимых вот уже на протяжении 3 лет всероссийских конкурсов показали, что в условиях рыночных отношений конкурентоспособность города, а следовательно его экономическое благосостояние, во многом определяется комфортом городской среды. Городская среда, приобретая индивидуальный образ, должна стать привлекательной площадкой для развития деловой активности и бизнеса, приобрести статус комфортного и безопасного пространства для пребывания различных городских сообществ, формировать городской имидж, отражающий богатые культурные традиции и высокий уровень социального благополучия горожан.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аюшеев З. Б. Анализ реализации проекта по созданию комфортной городской среды в муниципальном образовании // Столица Науки. 2020. Вып. 2(19). С. 76—82.
2. Яроцкая В. В. Обустройство городского пространства, или как сделать город комфортным для жизни / Global & Regional Research. 2020. Т. 2, № 1. С. 489—495.
3. Романенко И. И., Романенко М. И. Комфортная городская среда и ее влияние на социально-экономическое развитие региона / Инженерный вестник Дона. 2018. № 3. С. 48.
4. Петрина О. А., Стадолин М. Е. Комфортная городская среда: тенденции и проблемы организации / Вестник университета. 2018. № 6. С. 34—38.

© Черешнев И. В., Черешнева Н. В., Черешнев Л. И., 2023

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Черешнев И. В., Черешнева Н. В., Черешнев Л. И. Формирование комфортной городской среды на примере благоустройства проспекта Пионеров и сквера Железнодорожников в городе Петров Вал Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 223—231.

Об авторах:

Черешнев Игорь Владимирович — канд. архитектуры, проф., проф. каф. дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; tchereshnev@rambler.ru

Черешнева Нурия Варисовна — доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Черешнев Леонид Игоревич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Igor' V. Chereshev, Nuriya V. Cheresheva, Leonid I. Chereshev

Volgograd State Technical University

**FORMATION OF A COMFORTABLE URBAN ENVIRONMENT
ON THE EXAMPLE OF THE IMPROVEMENT OF PIONEER AVENUE
AND THE ZHELEZNODOROZHNIKOV SQUARE
IN THE CITY OF PETROV VAL, VOLGOGRAD REGION**

The article is devoted to the analysis of the results of the implementation of the national project "Housing and a comfortable urban environment". On the example of the project of the winner of the all-Russian competition, the methodology of developing a conceptual solution for the project is studied.

К e y w o r d s: comfortable urban environment, national project, concept, public space.

For citation:

Chereshev I. V., Cheresheva N. V., Chereshev L. I. [Formation of a comfortable urban environment on the example of the improvement of Pioneer avenue and the Zheleznodorozhnikov square in the city of Petrov Val, Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 223—231.

About authors:

Igor' V. Chereshev — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tchereshnev@rambler.ru

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

Leonid I. Chereshev — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 378.1

С. Н. Торгашина, Т. В. Ерещенко, Н. Ю. Ермилова, Д. Б. Панов

Волгоградский государственный технический университет

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В КОНТЕКСТЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ СВЯЗЕЙ

Рассмотрено формирование профессиональных компетенций студентов технических вузов в системе межпредметных связей дисциплин естественно-научного профиля. Показана роль и значение междисциплинарных связей в практической и научно-теоретической подготовке обучающихся.

Ключевые слова: образовательный процесс, междисциплинарные связи, профессиональные компетенции.

Формирование компетентного специалиста, обладающего качественно новым, инновационным типом мышления, конкурентоспособностью и профессиональным универсализмом, является одним из приоритетных направлений высшей технической школы. В соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования современный выпускник технического вуза должен обладать рядом компетенций, позволяющих решать комплекс профессионально значимых задач. В области инженерной деятельности, в частности, к их числу относятся изыскательские, проектные и технологические задачи, в решении которых широко используются графические и математические методы и средства.

Важную роль в усилении практической и научно-теоретической подготовки студентов технических вузов, повышении ее качества и эффективности играют междисциплинарные связи. Они являются условием и результатом целостного подхода в образовательном процессе. Анализ межпредметных связей дисциплин естественно-научного профиля может включать в себя рассмотрение того, как различные научные области в естественных науках взаимодействуют и сопряжены друг с другом. С помощью многосторонних междисциплинарных связей закладывается фундамент для всеохватывающего видения, подхода и решения сложных вопросов действительности. Учет межпредметных связей — необходимое условие успешного обучения. Развитие мышления учащихся, их кругозора зависит прежде всего от того, как осуществляется эта связь. Она в особенности принципиальна в преподавании инженерной, компьютерной графики и математики, т. к. знания, умения и способности, которые получаются по одному из этих предметов, употребляются при изучении второго [1]. Процесс интеграции дисциплин требует реализации определенных критериев:

- объекты изучения достаточно близки либо совпадают;
- в интегрируемых дисциплинах употребляются близкие способы исследования либо однообразные;
- они строятся на общих закономерностях и теоретических концепциях.

С позиции целостности образовательного процесса можно сказать, что междисциплинарные связи функционируют на организационном, методическом, содержательном и информационном уровнях.

Исследования, изучающие вопросы практического применения математического аппарата и реализации междисциплинарных связей, не являются инновационными, но, тем не менее, на сегодняшний день они не потеряли своей актуальности. Современные ученые предлагают различные методы реализации межпредметных связей математики с другими дисциплинами естественно-научного цикла. Это и анкетирование преподавателей и студентов по вопросам целесообразности реализации межпредметных связей, опросы работодателей о профессиональной компетентности выпускников, а также анкетирование дипломных руководителей на предмет освоения дипломниками необходимых компетенций [2].

Одним из способов реализации междисциплинарных связей являются межпредметные задачи. Чтобы создать модель межпредметных связей, необходимо, прежде всего, провести исследование содержания темы на предмет выявления ее ведущих положений и основных связеобразующих частей. Также необходимо провести исследование содержания тем других дисциплин образовательной программы с целью определения степени перекрываемости их содержания содержанием изучаемой темы, затем определить главные межпредметные связи, которые необходимо использовать, чтобы всесторонне и научно раскрыть положения изучаемой темы. Проблема реализации междисциплинарных связей при обучении в технических вузах разработана недостаточно, поэтому возникает необходимость формирования у обучающихся умения осуществлять междисциплинарный перенос знаний [3, 4].

Выделим ряд компетенций, формирование которых определяется совокупностью дисциплин естественно-научного цикла. Для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» в учебных дисциплинах «Инженерная и компьютерная графика», «Математика» и «Информационные технологии» в качестве формируемых общепрофессиональных компетенций определены: ОПК-1 (Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата) и ОПК-2 (Способен вести обработку, анализ и представление информации в профессиональной деятельности с использованием информационных и компьютерных технологий) (рис. 1).



Рис. 1. Взаимодействие компетенций предметных областей

Дисциплина «Инженерная и компьютерная графика» осваивается студентами общетехнических специальностей на первом курсе. Задачей освоения курса является развитие у студента знаний, способностей и умений, необходимых для реализации комплекса общенаучных, общепрофессиональных, инструментальных, социально-личностных компетенций, связанных с умением составлять и оценивать графо-геометрическую документацию. При изучении данной дисциплины учащиеся знакомятся с такими понятиями, как эллипс, циклоида, эпициклоида, гипоциклоида, кардиоида (улитка Паскаля), спираль Архимеда, конхоида, циссоида и т. д.

Рассмотрим некоторые понятия в контексте междисциплинарных связей (табл. 1—3) и примеры использования перечисленных компетенций.

1. Улитка Паскаля — плоская кривая определенного типа. Улитка Паскаля, также известная как спираль Паскаля или спираль Фибоначчи, является геометрической конструкцией, основанной на числах Фибоначчи. Эта спираль образуется путем размещения квадратов с длинами сторон, соответствующими числам Фибоначчи, вдоль спирали, и имеет несколько потенциальных применений в технике:

Разметка и проектирование — для создания точных и масштабируемых спиральных шаблонов. Эти шаблоны могут быть полезны для разметки объектов, таких как винты, пружины, шестерни и другие детали, которые имеют спиральную форму.

Инженерная и компьютерная графика — для создания графических элементов, таких как логотипы, орнаменты и декоративные элементы, имеющих спиральную форму.

Конструкция машин и устройств — в дизайне и конструировании машин и устройств, где спиральные формы требуются для определенных функциональных целей. Например, она может использоваться в разработке механизмов для перемещения материалов по спирали.

Технические исследования — в технических исследованиях и тестированиях, особенно в областях, где важную роль играют спиральные формы. Например, в аэродинамике ее можно использовать для изучения спиральных движений в потоках воздуха.

Архитектура и строительство — для создания декоративных элементов, таких как ступени лестниц, ограждения и фасады зданий с элементами спирали.

Искусство и дизайн — для создания уникальных и эстетически привлекательных композиций. Например, создание изящных узоров, украшений и иллюстраций.

Т а б л и ц а 1

Название	Инженерная графика	Математика	Применение
Улитка Паскаля	Точка, сопряжение, кривая, плоскость, прямая, профиль, нормаль, центр, окружность, радиус, отрезок	Уравнение, диаметр, окружность, вектор	Машиностроение, оптика, архитектура, строительство, дизайн

2. Циссоида — алгебраическая кривая, созданная из двух заданных кривых, относительно точки O (полюса) [5—7]. Циссоида была изначально использована для решения геометрических задач, включая построение кубического уравнения. Она также имеет важное значение в математическом анализе и теории вероятностей.

Т а б л и ц а 2

Название	Инженерная графика	Математика	Применение
Циссоида	Площадь, квадрат, ребро, кривая	Уравнение, центр, коэффициент подобия, координаты, функция	Машиностроение, оптика, архитектура

3. Спираль Архимеда — это винтообразная кривая, которая огибает условный центр или ось, постепенно удаляясь-приближаясь к оси. Спираль — плоская кривая линия. Спиральные формы часто встречаются в природе: галактики, водовороты, смерчи, раковины моллюсков, папиллярные линии пальцев, двойная спираль молекулы ДНК. Спирали Архимеда широко используются при построении геометрий для катушек индуктивности, спиральных теплообменников и микрогидродинамических устройств.

Т а б л и ц а 3

Название	Инженерная графика	Математика	Применение
Спираль Архимеда	Система координат, кривая, точка	Траектория, луч, угол поворота, радиан	Архитектура, дизайн

Данные, приведенные в табл. 1—3, показывают, что реализация на практике междисциплинарных связей способствует классификации полученных знаний, а также позволяет опираться на изученный ранее учебный материал и выявлять возможности для дальнейшего познания [8—11]. Составным элементом межпредметных связей является реализация принципов научности, систематичности и сознательности. Также междисциплинарные связи играют организующую роль, т. е. оказывают воздействие на построение программ, структуру учебного материала, учебников, на отбор форм и методов обучения [12, 13].

Дисциплины «Инженерная и компьютерная графика», «Математика» и «Информационные технологии» имеют глубокую и неразрывную связь, особенно в контексте инженерных и технических областей. Рассмотрим способы их взаимодействия.

Математика, особенно геометрия и тригонометрия, играют важную роль в инженерной графике. Эти математические дисциплины используются для определения размеров, углов, расстояний и форм объектов на чертежах. Инженеры и дизайнеры используют геометрические принципы и тригонометрию для создания точных и удовлетворяющих требованиям чертежей.

Математические концепции, такие как сплайны и поверхности Безье, играют важную роль в создании плавных и сложных форм на чертежах и в трехмерном моделировании. Эти методы позволяют инженерам и дизайнерам создавать сложные геометрические объекты. В современном мире математика также используется в компьютерной графике и информационных технологиях для создания и визуализации 2D- и 3D-моделей. Это включает в себя использование математических алгоритмов для рендеринга и анимации объектов. Таким образом, математика является основой для инженерной и компьютерной

графики, обеспечивая точность измерений и анализ геометрических форм, что является критически важным в инженерных и архитектурных дисциплинах.

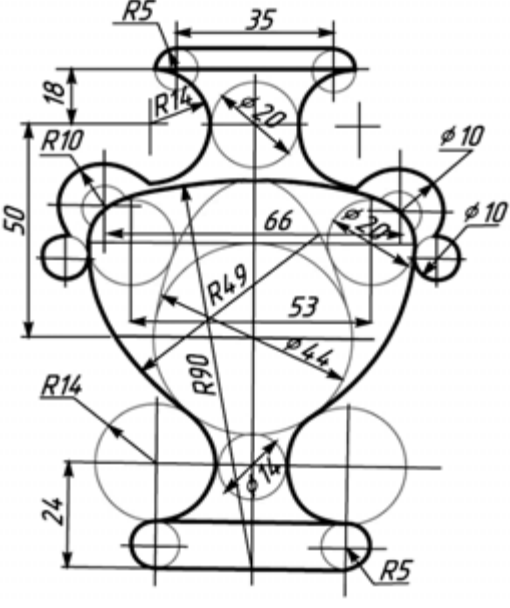
Данный анализ позволяет выделить несколько форм отношений между идеей межпредметных связей и принципами обучения:

1. Межпредметные связи как самостоятельный метод построения дидактических систем локального характера в предметной системе познания.

2. Одним из способов реализации всех принципов обучения являются межпредметные связи.

Для обеспечения полноценных межпредметных связей необходимо разрабатывать и включать в образовательный процесс задания, обеспечивающие всестороннюю подготовку студентов (табл. 4).

Таблица 4

Наименование кривых	Задание по дисциплине
<p>Улитка Паскаля Циссоида Спираль Архимеда</p>	<p>Инженерная и компьютерная графика</p> 

Наименование кривых	Задание по дисциплине
Улитка Паскаля Спираль Архимеда	Математика
	<p>1. Дана улитка Паскаля с полюсом в точке O. Записать уравнения в прямоугольной и полярной системах координат.</p> <p>2. Построить кривую по заданному параметрическому уравнению:</p> $\begin{cases} x = a \cos(t)^2 + b \cos(t) \\ y = a \cos(t) \sin(t) + b \sin(t). \end{cases}$ <p>Рассмотреть случаи $b \geq 2a$, $a < b < 2a$, $a > b$.</p> <p>3. Найти площадь, ограниченную спиралью Архимеда $\rho = 2^{a\varphi}$ и двумя радиусами-векторами, которые соответствуют полярным углам φ_1 и φ_2 ($\varphi_1 < \varphi_2$).</p>
Улитка Паскаля Спираль Архимеда	Информационные технологии
	<p>1. Построить кривую циссоиду по заданным параметрическим уравнениям:</p> $\begin{cases} x = \frac{at^2}{1+t^1} \\ y = \frac{at^3}{1+t^1} \end{cases}$ <p>для $a > 0$, t — от $-\infty$ до $+\infty$.</p> <p>2. Кривая улитка Паскаля определяется следующим уравнением в полярных координатах:</p> $\rho = a(1 + \cos(\varphi)),$ <p>где угол φ меняется от какого либо значения φ_0 до $\varphi_0 + 2\pi$.</p> <p>3. Напишите программу, которая выводит эту кривую и закрашивает внутреннюю часть ее петли цветом по вашему выбору.</p>

Таким образом, реализация межпредметных связей повышает уровень графической, математической, информационно-технологической и, как следствие, общей профессиональной подготовки обучающихся. При этом применяются особые средства обучения, которые организуют учебно-познавательную деятельность обучающихся по реализации межпредметных связей (межпредметные задачи, приборы, используемые при изучении других дисциплин, карточки-задания, тесты, проблемные вопросы, комплексные наглядные пособия, учебники по иным дисциплинам т. д.) [14, 15]. В то же время происходит активизация способов и приемов обучения, обеспечивающих перенос умений и знаний студентов из разных предметных областей и их обобщение. Данный процесс обучения под воздействием целенаправленно осуществляемых межпредметных связей влияет на его эффективность: умения становятся обобщенными, комплексными; познания получают характер

системности; усиливается система взглядов, оценок и образных представлений познавательных интересов обучающихся; более эффективно формируются их уверенность и достигается полноценное развитие личности. Межпредметные связи способствуют формированию у обучающихся диалектико-материалистических взглядов, выступают как средство развития понятий, помогают преодолеть предметную инертность мышления и расширяют кругозор обучающихся.

Вместе с тем выявлен и ряд проблем, возникающих при реализации межпредметных связей, а именно: при изучении дисциплин достаточно редко используются понятия, которые сформированы при изучении других предметов; неправильно оценивается роль изучаемого предмета в формировании у обучающихся умений и способностей, необходимых для смежных предметов; несогласованность обозначений и терминологии в некоторых вариантах аспектов в интерпретации общих для разных курсов понятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торгашина С. Н., Ерещенко Т. В., Косовцев В. Д., Чернобай Е. А. Межпредметные связи // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 348—357.
2. Растопчина О. М. Констатирующий эксперимент: целесообразность межпредметных связей и профессиональной направленности при изучении высшей математики // Преподаватель XXI в. 2018. № 3-1. С. 61—72.
3. Васильева Л. Н., Володина Е. В., Ильина И. И. Междисциплинарные задачи как средство развития профессиональной компетентности студентов технических направлений // Проблемы современного образования. 2019. № 6. С. 220—231.
4. Семенова Н. Г., Томина И. П. Межпредметный метод проектов в условиях комплексного использования электронных образовательных ресурсов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 10. С. 149—153.
5. Герасименко П. В. Методика оценивания качества знаний выпускников вузов по уровню плотности межпредметных корреляционных связей экзаменационных оценок // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3(18). С. 75—78.
6. Зникина Л. С., Стрельников П. А. Междисциплинарное взаимодействие как основа формирования интегративных компетенций студентов вуза // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. 2014. № 3. С. 216—218.
7. Чашина Ж. В. Анализ межпредметных связей в процессе обучения на примере биоэтики // Интеграция образования. 2015. № 1. С. 100—105.
8. Simmons C. H., Maguire D. E. Manual of Engineering Drawing, Second Edition to British and International Standards. 2004. 97 p.
9. Morling K. Geometric and Engineering Drawing. 2010. 343 p.
10. Engineering Design Graphics Journal. American Society for Engineering Education. 2017. 68 p.
11. MakLary R. E. Color and cognition in Mesoamerica. Constructing categories as vantages. Austin : Texas Univ., 1997. 616 p.
12. Kaufman I. Art and education in contemporary culture. New York, Macmillan co., London, Collier -Macmillan, cop. 966. 531 p.
13. Knopff H. J. Progressiver kunstun terricht. Eine handreichung fur Lehrer der Sekundarstufe. Donarworth, Auer. 972. 60 p.
14. Schlz L. T. Studio art. A resource for artist teather. New York a.c., Van Nostrand Reinhold, 1973. 103 p.
15. Robbins I. Arts and crafts media ideas for the elementary teacher. West Nyach (N.Y). Parker pub. Ca, 1973. 236 p.

© Торгашина С. Н., Ерещенко Т. В., Ермилова Н. Ю., Панов Д. Б., 2023

Поступила в редакцию
в ноябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Торгашина С. Н., Ерещенко Т. В., Ермилова Н. Ю., Панов Д. Б. Формирование профессиональных компетенций в контексте междисциплинарных связей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 232—239.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Ерещенко Татьяна Владимировна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Ермилова Наталья Юрьевна — канд. пед. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

Панов Дмитрий Борисович — канд. техн. наук, доц., зав. каф. инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, г. Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1

**Svetlana N. Torgashina, Tatyana V. Ereshchenko, Natalya Yu. Ermilova,
Dmitriy B. Panov**

Volgograd State Technical University

FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES IN THE CONTEXT OF INTERDISCIPLINARY RELATIONS

The formation of professional competencies of students of technical universities in the system of interdisciplinary connections of disciplines of natural science profile is considered. The role and importance of interdisciplinary connections in the practical and scientific-theoretical training of students is shown.

Key words: educational process, interdisciplinary connections, professional competencies.

For citation:

Torgashina S. N., Ereshchenko T. V., Ermilova N. Yu., Panov D. B. [Formation of professional competencies in the context of interdisciplinary relations]. *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. 5, pp. 232—239.

About authors:

Svetlana N. Torgashina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Tatyana V. Ereshchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Natalya Yu. Ermilova — Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation;

Dmitriy B. Panov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» *включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-otformleniyu/>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-otformleniyu/>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале, а рецензия, кроме того, в отсканированном виде.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: ORCID, ScopusID (при наличии); *индекс УДК*; на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи завершается личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — 8—12 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip, WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится *только* цитируемая в статье литература. Редколлегией приветствуется цитирование журнала. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке

упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи направляются редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и публикуются только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору по требованию.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ <http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна). vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Е.В. Карчагину по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис»,
подписной индекс **E 29507**.
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-
дия. ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолГТУ по адресу:
<https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/seriya-stroitelstvo-i-arkhitektura/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2023. Выпуск 5(93)**

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 20.12.2023. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 12,0. Усл. печ. л. 21,1. Тираж 500 экз. Заказ № 159

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