

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Вып. 3(80) **Серия: Строительство и архитектура**
Научно-теоретический и производственно-практический журнал **2020**

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

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолГТУ

С о д е р ж а н и е

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

- Голиков А. В., Кучина М. С., Гаранжа И. М.** Совершенствование конструктивной формы узла опирания ствола стальной дымовой трубы на поддерживающую конструкцию 4
- Голиков А. В., Субботин Д. И., Куранов Д. В.** Оценка достоверности расчетных моделей несущего каркаса трубчатых печей 18
- Саинов М. П., Котов Ф. В.** Влияние жесткости каменно-набросной плотины на термонапряженное состояние ее бетонного экрана 34
- Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Алексеев А. Ф.** Основные закономерности выщелачивания и изменения состава и свойств засоленных и незасоленных глинистых пород 42

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Бурханова Р. А., Акчури Т. К., Вовко В. В.** Модифицированные жаростойкие бетоны с использованием шлаковых заполнителей 54
- Игнатов А. В., Крапчетова Т. В., Стефаненко И. В., Бабкин В. А., Фомичёв В. Т., Акчури Т. К.** Исследование разжижающей способности модифицированного лигносульфоната в цементной композиции 64
- Муратова А. А., Картушина Ю. Н.** Разработка состава теплоизоляционных изделий из макулатуры и полимерных отходов 73

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Медведева О. Н., Сауткина Т. Н.** Использование вероятностного метода для прогноза состояния трубопроводов 84

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Потоловский Р. В., Ничипорова А. Р., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Ханова Е. Л., Геращенко А. А.** Соблюдение правил охраны труда на отделениях химической водоподготовки с целью сохранения экологии городских территорий 96
- Сенченко В. А., Скрипник И. Л., Пушенко С. Л., Стасева Е. В., Каверзнева Т. Т.** Особенности организации и ведения строительных работ на высоте с использованием лестниц 108

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Ганжа О. А., Куткая Н. А., Прокопенко В. В., Растяпина О. А.** Методика выбора шумозащитных мероприятий в градостроительном проектировании 122
- Иванова Ю. П., Соколова Е. В., Сахарова А. А., Иванова О. О., Азаров В. Н.** Проверка выполнения закона Вейбулла для различных направлений ветра, характерных для линейного города Волгограда 134

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

- Санжапов Б. Х., Санжапов Р. Б.** Поддержка принятия решений при оценке экологической безопасности эксплуатации автомобильной дороги 142

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

- Корниенко С. В.** Теплопроводность газобетонных стен при эксплуатационных условиях 152

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

- Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Баддур С.** Потенциальные возможности формирования туристического комплекса в городе Латакия Сирийской Арабской Республики 160
- Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Брехеми Р.** Рекреационно-туристические ресурсы как основа градостроительного развития территории Западной Гвинеи 168
- Ястребова Н. А., Стеценко С. Е.** Система открытых коммуникативных пространств г. Волгограда 179

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

- Ахмерова Г. М., Сафиуллин Р. Г.** Использование современной лабораторной базы при подготовке магистрантов профиля «Системы теплогазоснабжения и вентиляции» 191

- От редколлегии* 200

Content

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

- Golikov A. V., Kuchina M. S., Garanzha I. M.** Improvement of the structural form of the support unit for the steel chimney trunk on the supporting structure 4
- Golikov A. V., Subbotin D. I., Kuranov D. V.** The reliability assessment of design models of the supporting frame of tubular furnaces 18
- Sainov M. P., Kotov F. V.** Impact of rockfill dam rigidity on thermo-stressed state of its concrete face 34
- Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Alekseev A. F.** The main regularities of leaching and changes in the composition and properties of saline and unsalted clay rocks 42

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

- Burkhanova R. A., Akchurin T. K., Vovko V. V.** Modified heat-resistant concrete using slag aggregates 54
- Ignatov A. V., Krapchetova T. V., Stefanenko I. V., Babkin V. A., Fomichev V. T., Akchurin T. K.** The study of the fluidizing ability of the modified LST in the cement composition 64
- Muratova A. A., Kartushina Yu. N.** Development of the composition of thermal insulation products from waste paper and polymer waste 73

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

- Medvedeva O. N., Sautkina T. N.** Probabilistic method for predicting the state of pipelines 84

LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

- Potolovskii R. V., Nichiporova A. R., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Khanova E. L., Gerashchenko A. A.** Compliance with the rules of labor protection at chemical water treatment departments in order to preserve the ecology of urban areas 96
- Senchenko V. A., Skripnick I. L., Pushenko S. L., Staseva E. V., Kaverzneva T. T.** Features of organization and execution of construction works at height using stairs 108

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Ganzha O. A., Kutkaya N. A., Prokopenko V. V., Rastyapina O. A.** Methodology for the selection of noise protective actions in urban planning 122
- Ivanova Yu. P., Sokolova E. V., Sakharova A. A., Ivanova O. O., Azarov V. N.** Checking compliance with Weibull's law for various wind directions typical of the linear city of Volgograd 134

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Sanzhapov B. Kh., Sanzhapov R. B.** Supporting decision-making for estimation the environmental safety of road operation 142

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

- Kornienko S. V.** Thermal conductivity of exterior walls made from autoclaved aerated concrete blocks under operating conditions 152

CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY

- Chernyavskaya T. A., Chernyavsky Yu. V., Baddur S.** Potential development of the tourist complex in the city of Latakia of the Syrian Arab republic 160
- Chernyavskaya T. A., Chernyavsky Yu. V., Brehemou R.** Recreational and tourism resources as the basis of urban planning development of Western Guinea territory 168
- Yastrebova N. A., Stetsenko S. E.** System of open communicative spaces in Volgograd 179

ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

- Akhmerova G. M., Safiullin R. G.** Use of modern laboratory base in training of masters of profile «Heat and gas supply and ventilation systems» 191
- From Editorial Team** 200

УДК 624.97

А. В. Голиков^а, М. С. Кучина^а, И. М. Гаранжа^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Российский университет дружбы народов*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ УЗЛА ОПИРАНИЯ СТВОЛА СТАЛЬНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ НА ПОДДЕРЖИВАЮЩУЮ КОНСТРУКЦИЮ

В рамках исследования выполнен подробный анализ работы под нагрузкой опорного узла стальной дымовой трубы и разработано его рациональное конструктивное решение. В статье проанализировано напряженно-деформированное состояние узла дымовой трубы в местах опирания на поддерживающую конструкцию при различном конструктивном решении. Выполнены численные исследования работы опорного узла стальной дымовой трубы, и установлены качественные и количественные характеристики, влияющие на его напряженно-деформированное состояние. По результатам анализа данных серии численных экспериментов предложено рациональное конструктивное решение опорного узла стальной дымовой трубы, которое позволит значительно снизить металлоемкость конструкции при обеспечении несущей способности.

Ключевые слова: стальная дымовая труба, оболочка, напряженно-деформированное состояние, рациональное конструктивное решение, угол охвата опорного сегмента, эффективная высота, опорный узел, система кольцевых опорных ребер, система локальных опорных ребер.

Введение

Одним из актуальных путей развития техники является все более широкое применение легких и экономичных тонкостенных листовых конструкций. Листовые конструкции часто используются при строительстве зданий и подземных сооружений, трубопроводов, в газовой, нефтяной и других отраслях промышленности. Основными элементами таких конструкций являются цилиндрические оболочки и их сопряжения и пересечения.

В существующей нормативной, справочной литературе и научных исследованиях¹ [1—12] по расчету листовых конструкций достаточно полно разработаны методы расчета конструкций в пролетной части, но существуют пробелы в знаниях о явлении распределения деформаций и напряжений в опорных зонах, а также в зонах сопряжения листовых конструкций между собой и с примыкающими элементами. Имеются указания о необходимости учета местных напряжений на указанных участках, но не приведены методики расчета.

В работе представлены результаты совершенствования конструктивной формы узлов листовых конструкций на опорных участках применительно к опорным узлам стальных промышленных дымовых труб.

¹ СП 375.1325800.2017. Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования. М. : Стандартинформ, 2018. 50 с.

Руководство по эксплуатации промышленных дымовых и вентиляционных труб. М. : Комитет РФ по металлургии, 1993. 103 с.

СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. М., 2017. 118 с.

СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. М., 2012. 106 с.

Цель исследования — усовершенствовать конструктивную форму узла опирания ствола стальной дымовой трубы на поддерживающую конструкцию, разработать эффективное конструктивное решение опорного узла с учетом местных напряжений.

Предметом исследования является изменение напряженно-деформированного состояния (далее — НДС) оболочки стальной дымовой трубы в узлах опирания и сопряжения с поддерживающей конструкцией.

Объектом исследования является узел сопряжения элементов стальной дымовой трубы с опорными конструкциями башни.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи исследования:

- выполнить анализ конструктивных решений и методов расчета металлических дымовых труб, представленных в существующей нормативной базе;
- определить основные нагрузки и характер их действия на конструкции металлических дымовых труб;
- выполнить численные исследования работы опорных узлов металлических дымовых труб;
- установить качественные и количественные характеристики, влияющие на НДС опорных узлов;
- разработать рациональное конструктивное решение узла опирания ствола дымовой трубы на поддерживающую конструкцию.

Общие сведения о промышленных дымовых трубах и их конструкциях

Промышленные дымовые трубы предназначены как для создания естественной тяги, так и для отвода продуктов сгорания в верхние слои атмосферы и рассеивания их до допустимых концентраций. По соотношению высоты к поперечному сечению данные сооружения относятся к высотным.

По конструктивному решению (рис. 1) в зависимости от степени совмещения технологических и инженерных функций в сооружении дымовые трубы разделяются на три основных типа:

- 1) свободностоящие трубы (самонесущие);
- 2) подкрепленные трубы (раскрепленные в нижней части жесткими подкосами или решетчатыми конструкциями башенного типа, трубы на оттяжках);
- 3) вытяжные башни (трубы в поддерживающем каркасе)².

По сравнению со всеми другими типами дымовых труб металлические дымовые трубы имеют следующие достоинства: наименьшую массу, возможность возведения до 200 м и наиболее высокий уровень монтажной готовности, а также малые размеры фундаментов, что позволяет размещать их на площадках ограниченных размеров. Металлические дымовые трубы не фильтруют конденсат и позволяют выполнять футеровку в широком диапазоне температурных сопротивлений.

Основные недостатки металлических дымовых труб — относительно малый срок их службы, необходимость тщательного ухода в процессе эксплуатации, сложность ремонта кожуха и замены растяжек, которые являются наиболее уязвимыми конструкциями дымовых труб вследствие коррозии и прогаров металла³.

² СП 375.1325800.2017. Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования. М. : Стандартиформ, 2018. 50 с.

³ Руководство по эксплуатации промышленных дымовых и вентиляционных труб. М. : Комитет РФ по металлургии, 1993. 103 с.

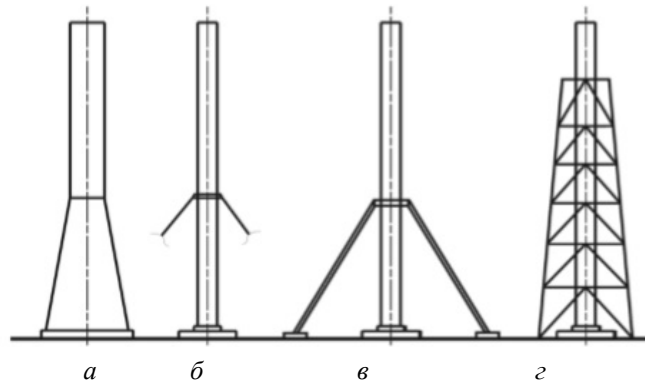


Рис. 1. Конструктивные решения дымовых труб: а — свободностоящая труба; б — труба, раскрепленная в пространстве оттяжками; в — труба, подкрепленная жесткими подкосами; г — труба в поддерживающем каркасе

Промышленные металлические дымовые трубы находятся в эксплуатации в среднеагрессивных и сильноагрессивных средах⁴. Температура отводимых газов колеблется от 100 до 500 °С. Для защиты ствола дымовой трубы от температурного и агрессивного воздействия отводимых газов предусматривают тепловую изоляцию ствола и футеровку из кирпича, специального бетона, керамических блоков из кирпича, металлов и т. п.⁵

Срок службы в зависимости от условий эксплуатации может составлять $T = 20\text{—}30$ лет.

Геометрические параметры металлических дымовых труб принимаются по результатам расчетов в зависимости от высоты трубы, требуемого выходного диаметра и выбранной формы сооружения.

Основные конструктивные элементы дымовых труб представлены на рис. 2.

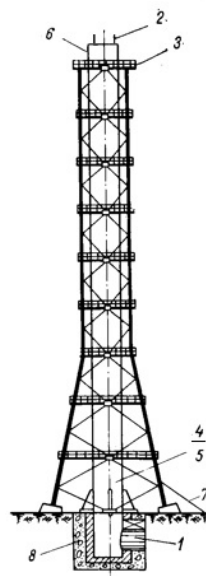


Рис. 2. Основные конструктивные элементы дымовых труб: 1 — боров; 2 — молниезащита; 3 — светофорная площадка; 4 — газоотводящий ствол трубы; 5 — тепловая изоляция; 6 — оголовок; 7 — заземление; 8 — фундамент

⁴ СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. М., 2017. 118 с.

⁵ СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. М., 2012. 106 с.

Марки сталей для дымовых труб принимаются в соответствии с СП 16.13330.2017 с отнесением отдельных элементов к следующим группам:

- группа 1: оболочка и наружные ребра жесткости свободно стоящих дымовых труб, фланцы и элементы опорных узлов;
- группа 3: внутренние опорные элементы и ребра жесткости;
- группа 4: площадки, лестницы, ограждения⁶.

Фундаменты труб проектируют железобетонными в соответствии с СП 20.13330.2016 и СП 24.13330.2011⁷.

Расчетные схемы и положения при расчете промышленных металлических дымовых труб

Расчетная схема дымовой трубы — защемленный у основания консольный стержень постоянного или переменного по высоте кольцевого сечения, для стальных труб с оттяжками — консольный стержень, защемленный в основании с упругими опорами в местах оттяжек⁸.

Основными нагрузками на дымовые трубы являются:

- нагрузка от собственного веса конструкций (ствол дымовой трубы, фундамент, футеровка, тепловая изоляция и т. п.);
- ветровая нагрузка⁹.

Дымовые трубы также испытывают сопутствующие нагрузки: скоростной напор ветра и резонансное вихревое возбуждение¹⁰.

Расчет металлических дымовых труб проводится как сжато-изгибаемых стержней. Оболочки стволов рассчитывают по безмоментной теории. Данная теория характеризует работу дымовых труб между точками закрепления. Работа оболочек стволов на участках в зоне локального приложения нагрузки характеризуется моментным НДС.

Расчет по несущей способности следует выполнять с целью подтверждения отсутствия потери устойчивости оболочки в результате действия расчетных нагрузок. Необходимо выполнять проверку оболочки на прочность, а также на общую и местную устойчивость в соответствии с СП 16.13330.2017.

Расчет по деформациям следует выполнять с целью определения значения горизонтального перемещения верха трубы от действия нагрузок. Предельное значение горизонтального перемещения верха от нормативной ветровой нагрузки необходимо принимать согласно СП 43.13330.2012: не должно превышать $1/75$ ее высоты.

При расчете металлических дымовых труб коэффициент надежности по ветровой нагрузке принимают равным 1,4 для труб нормального и пониженного уровня ответственности и равным 1,5 для труб повышенного уровня ответственности¹¹. Уровень ответственности сооружения определяется в соответствии с № 384-ФЗ.

⁶ СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. М., 2012. 106 с.

⁷ СП 375.1325800.2017. Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования. М. : Стандартинформ, 2018 50 с.

⁸ Там же.

⁹ СП 375.1325800.2017. Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования. М. : Стандартинформ, 2018 50 с.

¹⁰ СП 43.13330.2012. Сооружения промышленных предприятий. М., 2012. 106 с.

¹¹ СП 375.1325800.2017. Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования. М. : Стандартинформ, 2018 50 с.

Результаты исследования НДС опорных узлов металлических дымовых труб, разработка рационального конструктивного решения

Основные варианты конструктивных решений узла опирания дымовой трубы на поддерживающие конструкции представлены на рис. 3.

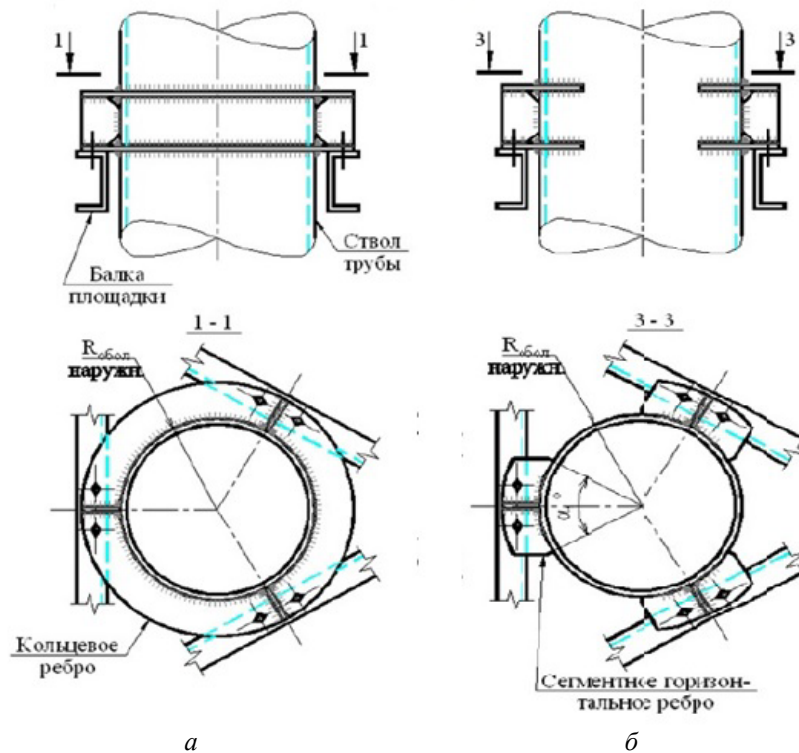


Рис. 3. Основные варианты конструктивных решений опорных узлов дымовой трубы: *а* — опирание через систему кольцевых ребер; *б* — опирание через систему локальных ребер

Расчет конструкций опорных узлов металлических дымовых труб выполняется в ПК Лира-САПР. Участки стволов смоделированы четырехузловыми конечными элементами. Треугольные конечные элементы на участки применяются с углом не менее чем 15° . Сгущение сетки конечных элементов выполнено до момента, пока погрешность от дискретизации расчетной модели не превышала 10 % (рис. 4).

Для оценки влияния конструктивного решения опорного узла на НДС конструкций металлической дымовой трубы выполнен расчет сечения ствола дымовой трубы с моделированием двух основных вариантов опирания на поддерживающие конструкции — опирание через систему кольцевых ребер и опирание через систему локальных ребер (рис. 5).

Размеры сечения ствола дымовой трубы: $R = 1,2$ м; $H = 1,8$ м; $T = 8$ мм. Размеры вертикальных ребер: $h = 0,24$ м; $b = 0,12$ м; $t = 10$ мм. Вертикальные ребра расположены с шагом 120° , количество вертикальных ребер — 3 шт. Размеры горизонтальных ребер для моделей опорных узлов: $r = 1,2$ м; $b = 0,12$ м; $t = 8$ мм. Горизонтальные ребра для модели опорного узла «система кольцевых ребер» выполнены замкнутыми, а для модели опорного узла

«система локальных ребер» — ограниченными. Для определения рационального угла охвата опорного сегмента были созданы и просчитаны модели со следующими углами: $\alpha = 24^\circ, 30^\circ, 36^\circ, 42^\circ, 48^\circ, 54^\circ, 60^\circ, 66^\circ, 72^\circ, 78^\circ, 84^\circ, 90^\circ$. Места крепления системы кольцевых ребер к конструкции башни выполнены жесткими. Материал — сталь, модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$. Оболочка и кольцевые ребра смоделированы объемными четырехугольными конечными элементами типа пластины КЭ-44. Приложена вертикальная нагрузка, равномерно распределенная по длине образующей $P = 1$ кН.

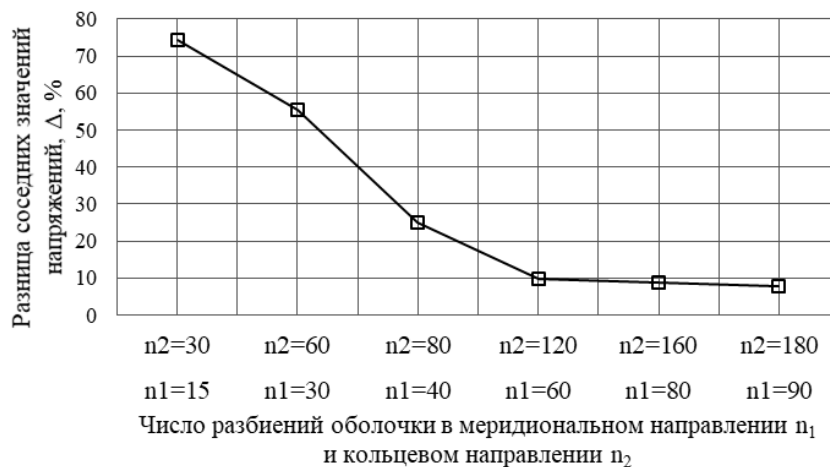


Рис. 4. Дискретизация расчетной модели

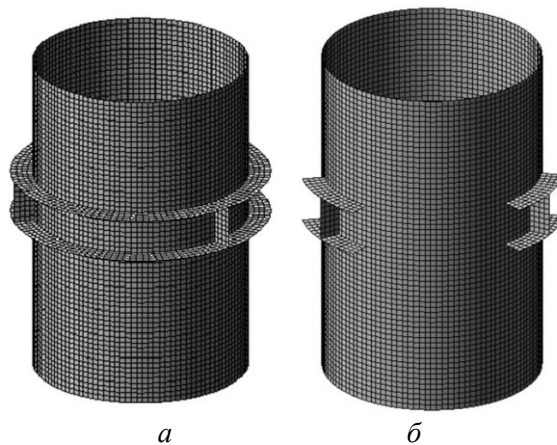


Рис. 5. Конечноэлементные модели узлов: *а* — опирание через систему кольцевых ребер; *б* — опирание через систему локальных ребер

На рисунках 6 и 7 показаны мозаики главных напряжений в среднем слое конструкции и деформации модели для двух основных вариантов опирания на поддерживающие конструкции — опирание через систему кольцевых ребер и опирание через систему локальных ребер соответственно.

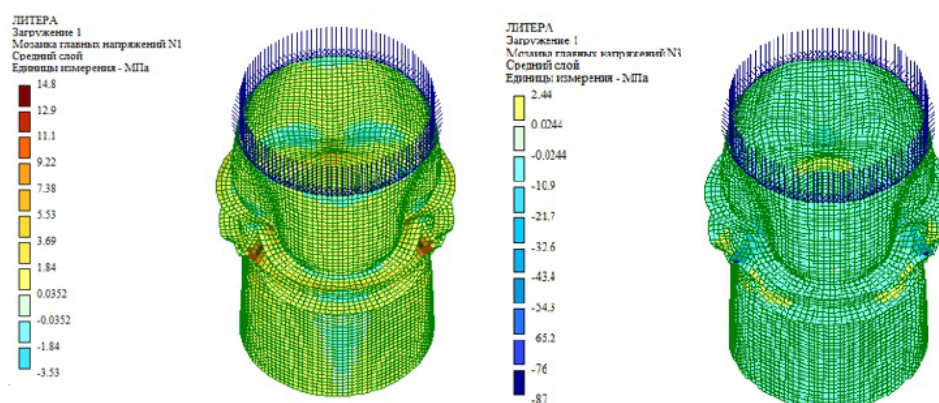


Рис. 6. Мозаика главных напряжений и деформации конечноэлементной модели при опирании через систему кольцевых ребер

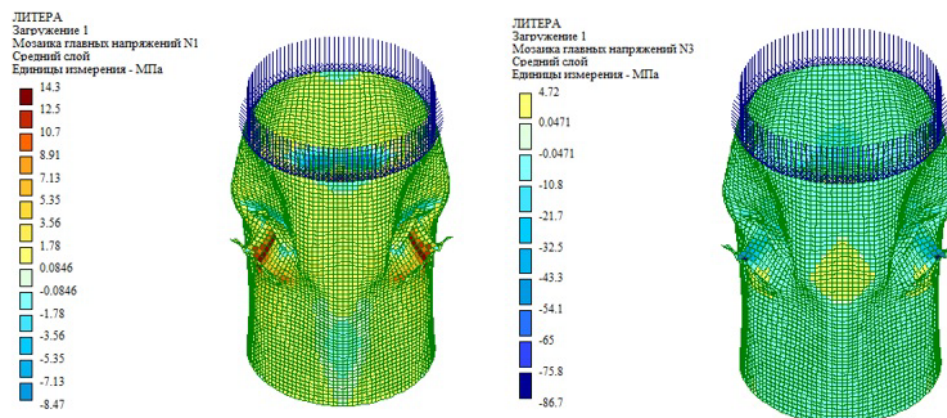


Рис. 7. Мозаика главных напряжений и деформации конечноэлементной модели при опирании через систему локальных ребер

Рассмотрено изменение эквивалентных напряжений в элементах конструкции в зависимости от конструктивного решения опорного узла.

Эквивалентные напряжения получены в соответствии с СП 16.13330.2017 по формуле:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)}, \quad (1)$$

где σ_1 — меридиональное сжимающее напряжение, МПа; σ_2 — кольцевое растягивающее напряжение, МПа.

Результаты расчета приведены в табл. 1, 2.

В результате анализа данных табл. 1 и 2 можно сделать вывод, что напряжения тонкостенной оболочки металлической дымовой трубы имеют одинаковые по всей толщине конструкции значения лишь в зонах, удаленных от мест локального приложения нагрузки (вертикальные ребра). На участках локального воздействия нагрузки на оболочку, в местах примыкания к ней верхних и нижних горизонтальных ребер происходит скачок напряжений, изменяющихся в зависимости от слоя. Поэтому в дальнейшем при исследо-

вании напряжений в верхних и нижних горизонтальных ребрах, а также в оболочке толщины конструкций принимаются по слою с максимальными эквивалентными напряжениями (по внешнему слою).

Т а б л и ц а 1

*Значения усилий в элементах конструкции при опирании
 через систему кольцевых ребер*

Элемент узла	Слой	Меридиональные напряжения	Кольцевые напряжения	Эквивалентные напряжения
		σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_{\text{экв}}$, МПа
Оболочка	Внутренний слой (нижний)	13,349	-17,322	26,636
	Средний слой	12,101	-22,658	30,561
	Внешний слой (верхний)	24,187	-31,760	48,600
Горизонтальные ребра (верхние)	Внутренний слой	13,738	-37,666	46,097
	Средний слой	12,029	-32,553	39,950
	Внешний слой	13,738	-37,666	46,097
Горизонтальные ребра (нижние)	Внутренний слой	31,948	-34,063	57,177
	Средний слой	5,916	-11,770	15,594
	Внешний слой	31,948	-34,063	57,177
Вертикальные ребра	Внутренний слой	14,754	-86,870	95,109
	Средний слой	14,754	-86,870	95,108
	Внешний слой	14,754	-86,870	95,109

Т а б л и ц а 2

*Значения усилий в элементах конструкции при опирании
 через систему локальных ребер, угла охвата опорного сегмента $\alpha = 42^\circ$*

Элемент узла	Слой	Меридиональные напряжения	Кольцевые напряжения	Эквивалентные напряжения
		σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_{\text{экв}}$, МПа
Оболочка	Внешний слой	30,148	-46,383	66,773
Горизонтальные ребра (верхние)	Внешний слой	11,366	-29,186	36,232
Горизонтальные ребра (нижние)	Внешний слой	31,993	-33,968	57,132
Вертикальные ребра	Внешний слой	14,254	-86,626	94,563

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что наиболее рациональные углы охвата опорного сегмента $\alpha = 42...66^\circ$. В верхних горизонтальных ребрах напряжения при уменьшении угла охвата опорного сегмента изменяются на 35 %, принимая наименьшее значение при $\alpha = 36^\circ$.

В нижних горизонтальных и вертикальных ребрах напряжения при изменении угла охвата опорного сегмента изменяются не более чем на 3 % и на 1 % соответственно, что не оказывает существенного влияния на напряженно-деформированное состояние опорного узла.

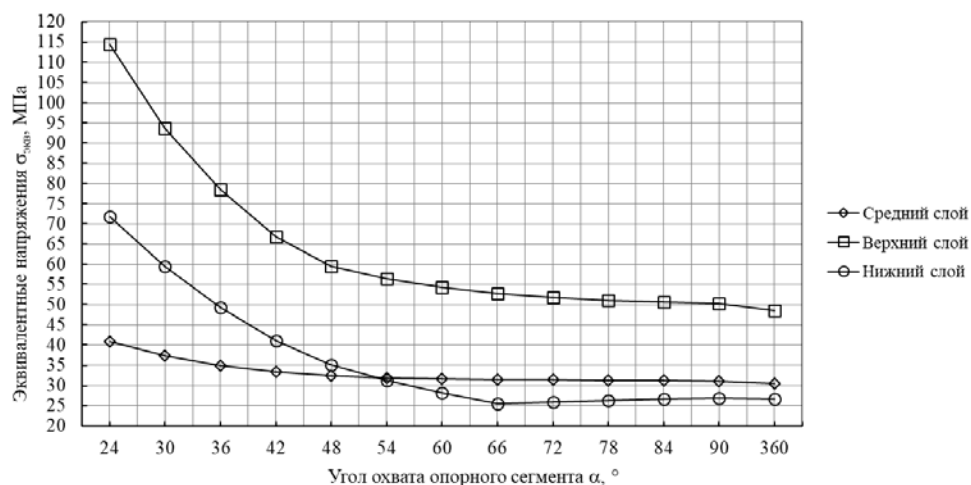


Рис. 8. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$, МПа, от угла охвата опорного сегмента α , °, в среднем, верхнем и нижнем слоях оболочки конечноэлементной модели узла

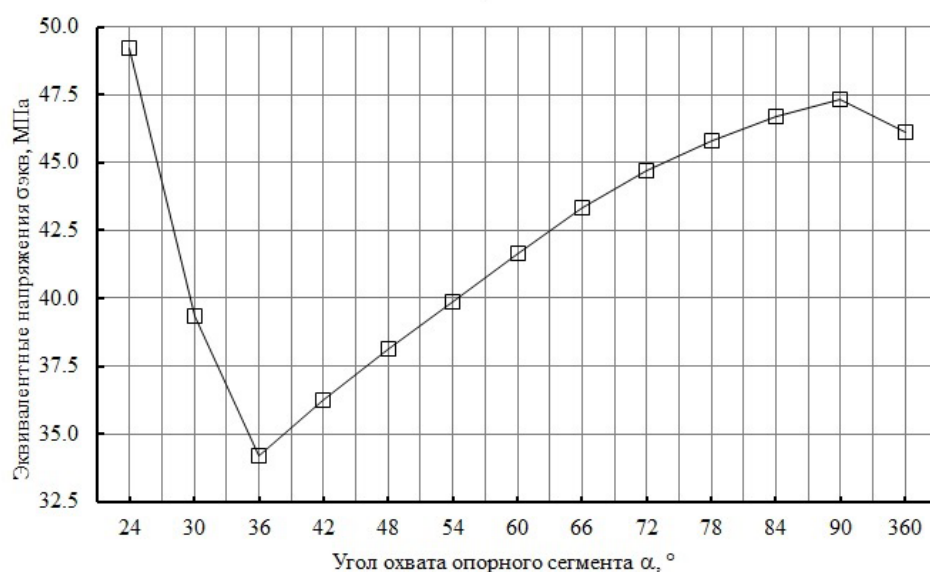


Рис. 9. Зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$, МПа, от угла охвата опорного сегмента α , °, в верхнем слое верхних горизонтальных ребер конечноэлементной модели узла

В результате анализа данных табл. 3 можно сделать вывод, что наиболее рациональным углом охвата опорного сегмента является угол $\alpha = 54^\circ$, при таком угле максимальные эквивалентные напряжения в стволе оболочки превышают напряжения при угле охвата $\alpha = 360^\circ$ не более чем на 15 %.

Т а б л и ц а 3

*Результаты сравнения значений усилий в оболочке
 при различном конструктивном решении опорного узла*

Слой	Угол охвата опорного сегмента $\alpha,^\circ$									
	42		48		60		66		360	
	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа	$\Delta,$ %	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа	$\Delta,$ %	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа	$\Delta,$ %	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа	$\Delta,$ %	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа	
Внешний слой (верхний)	66,77	27	59,58	18	54,286	10	52,76	8	48,600	
Средний слой	33,42	9	32,47	6	31,606	3	31,44	3	30,562	
Внутренний слой (нижний)	41,02	35	35,15	24	28,096	5	25,58	4	26,636	

Значения эквивалентных напряжений зависят не только от угла охвата опорного сегмента, но и от высоты вертикальных ребер. Для определения зависимостей созданы расчетные модели диаметром 1,2 м. Исходные и полученные данные сведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Определение коэффициента $K(h)$

Высота	Эквивалентные напряжения в слоях оболочки			Коэффициент высоты вертикального ребра $K(h)$		
	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа в верхнем слое	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа в среднем слое	$\sigma_{\text{экв}},$ МПа в нижнем слое	$K(h)_{\text{верх}}$	$K(h)_{\text{сред}}$	$K(h)_{\text{нижн}}$
$\frac{1}{10}d$	113,828	47,169	58,869	1,77	1,37	1,75
$\frac{1}{8}d$	90,308	41,813	45,022	1,41	1,21	1,34
$\frac{1}{6,5}d$	74,922	37,743	37,062	1,17	1,09	1,10
$\frac{1}{5,5}d$	64,243	34,533	33,648	1,00	1,00	1,00
$\frac{1}{5}d$	56,482	31,912	31,256	0,88	0,92	0,93
$\frac{1}{4,5}d$	50,621	29,710	29,219	0,79	0,86	0,87
$\frac{1}{4}d$	46,049	27,816	27,399	0,72	0,81	0,81

На основе полученных данных табл. 3 построены графики зависимости коэффициента высоты вертикального ребра $K(h)$ (рис. 10).

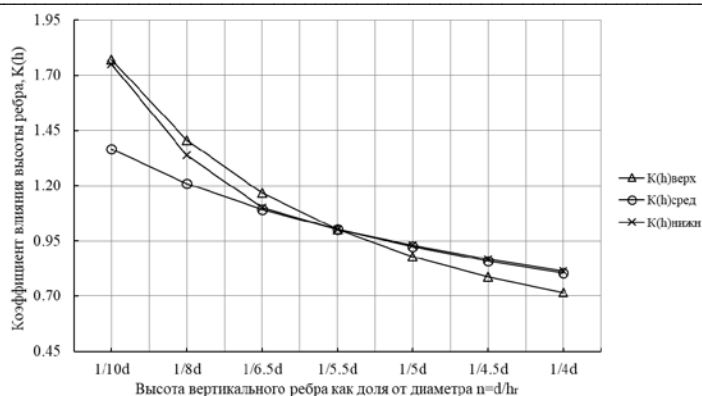


Рис. 10. Зависимость коэффициента влияния высоты ребра $K(h)$ от высоты вертикального ребра

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что зависимость эквивалентных напряжений от высоты вертикального ребра имеет малую кривизну и с достаточной точностью может быть аппроксимирована прямой. Высоту вертикального ребра для опорного узла следует выбирать конструктивно в представленном диапазоне. Эффективной следует считать высоту $\frac{1}{5,5}d$ оболочки.

На основе полученных данных табл. 5 построен график зависимости металлоемкости конструкции от конструктивного решения опорного узла (рис. 11).

Таблица 5

Металлоемкость конструкции

Наименование элемента конструкции	Угол охвата опорного сегмента $\alpha, ^\circ$		
	54		360
	Металлоемкость, М, т	$\Delta, \%$	Металлоемкость, М, т
Ствол трубы	0,423	0	0,423
Вертикальные ребра	0,007	0	0,007
Горизонтальные ребра	0,002	99	0,250
Итого	0,432	36	0,680

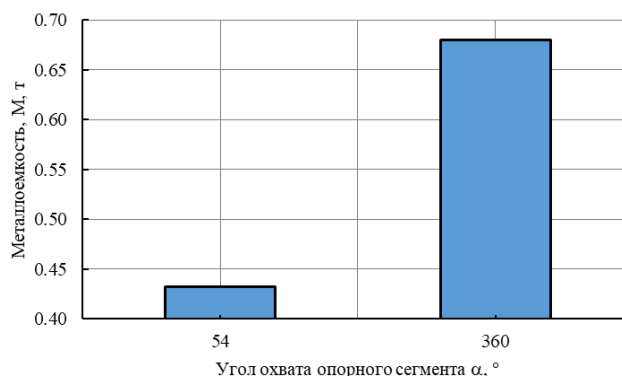


Рис. 11. Зависимость металлоемкости конструкции М, т, от конструктивного решения опорного узла

Выводы

1. Усовершенствована конструктивная форма узла опирания ствола стальной дымовой трубы на поддерживающую конструкцию, позволяющая существенно упростить существующее в практике строительства решение. Наиболее рациональным конструктивным решением опорного узла является опирание через систему локальных ребер с углом охвата опорного сегмента $\alpha = 54^\circ$.

2. Выполнен анализ возможных конструктивных решений опорных узлов, и исследовано их напряженно-деформированное состояние в зависимости от характера действующих нагрузок.

3. Установлено, что наиболее эффективным является конструктивное решение опорного узла стальной дымовой трубы с высотой опорного узла $1/5,5$ от диаметра оболочки и углом охвата опорного сегмента $\alpha = 54^\circ$.

4. Выявлено, что оболочка на участках между локальными ребрами совмещает роль несущего ствола и кольцевого ребра, что позволило рекомендовать систему опирания через локальные ребра.

5. Влияние высоты ребра в диапазоне от $\frac{1}{10}d$ до $\frac{1}{4}d$ оболочки не оказывает существенного влияния на изменение напряжений в элементах опорного узла и оболочки.

6. Об эффективности предложенного конструктивного решения свидетельствует снижение металлоемкости на 36 % предложенного конструктивного решения узла с опиранием через систему локальных ребер по сравнению с опиранием через систему кольцевых ребер.

7. Трудоемкость изготовления конструкции опорного узла уменьшается в соответствии со снижением металлоемкости конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cem S., Cem T., Rotterb J. M. Buckling of cylindrical metal shells on discretely supported ring beams // *Thin-Walled Structures*. 2015. No. 93. Pp. 22—35.
2. Krasovsky V., Marchenko V., Schmidt R. Deformation and buckling of axially compressed cylindrical shells with local loads in numerical simulation and experiments // *Thin-Walled Structures*. 2011. No. 49. Pp. 576—580.
3. Hickman A. R. Carriers cut back coverage for construction defects // *American Agent & Broker*. 2003. Vol. 75. No. 7. Pp. 24.
4. Atkinson A. R. The role of human error in construction defects // *Structural Survey*. 1999. Vol. 17. No. 4. Pp. 231—236.
5. Berto F., Lazzarin P., Wang C. H. Three-dimensional elastic distribution of stress and strain energy density ahead of V-shaped notches in plates of arbitrary thickness // *Fracture*. 2004. No. 127. Pp. 265—282.
6. Lazzarin P., Tovo R., Blacker T. D. A unified approach to the evaluation of linear elastic stress fields in the neighbourhood of cracks and notches // *Fracture*. No. 78. 1996. Pp. 3—19.
7. Blacker T. D., Stephenson M. B. Paving: a new approach to automated quadrilateral mesh generation // *Num. Meth. Eng.* 1991. No. 32. Pp. 811—847.
8. Chen H., Liew J. Y. R. Explosion and fire analysis of steel frames using mixed element approach // *Engineering Mechanics*. 131(6). Pp. 606—616. DOI: 10.161(ASCE)0733-9399(2005)131:6(606).
9. Голиков А. В. Рациональное конструктивное решение газоотводящего ствола // *Вестник ДонНУСА*. 2010. Вып. 4(84). С. 3—6.
10. Лессиг Е. Н. Лилеев А. Ф., Соколов А. Г. Листовые металлические конструкции. М. : Стройиздат, 1970. 420 с.

11. Скачков С. В., Шуцкий С. В. Расчет стенки водонапорной башни в виде цилиндрического резервуара на прочность и устойчивость // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4538.

12. Царьков А. В., Пащенко В. В., Зиновьева О. И. Исследование влияния концентраторов напряжений на НДС в плоских образцах труб под давлением // Инженерный вестник Дона. 2014. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2675.

© Голиков А. В., Кучина М. С., Гаранжа И. М., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Голиков А. В., Кучина М. С., Гаранжа И. М. Совершенствование конструктивной формы узла опирания ствола стальной дымовой трубы на поддерживающую конструкцию // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 4—17.

Об авторах:

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

Кучина Мария Сергеевна — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; kuchina95@bk.ru

Гаранжа Игорь Михайлович — доцент департамента строительства, Российский университет дружбы народов (РУДН). Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6; ORCID: 0000-0002-6687-7249, garigo@mail.ru

Alexander V. Golikov^a, Mariya S. Kuchina^a, Igor M. Garanzha^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)*

IMPROVEMENT OF THE STRUCTURAL FORM OF THE SUPPORT UNIT FOR THE STEEL CHIMNEY TRUNK ON THE SUPPORTING STRUCTURE

In the framework of the study, a detailed analysis of the work under load of the support unit of a steel chimney was performed and its rational design solution was developed. The article analyzes the stress-strain state of the chimney node in the places of support on the supporting structure with different design solutions. Numerical studies of the operation of the support unit of a steel chimney are performed and qualitative and quantitative characteristics that affect its stress-strain state are established. Based on the results of the analysis of data from a series of numerical experiments, a rational design solution for the support unit of a steel chimney is proposed, which will significantly reduce the metal content of the structure while ensuring the load-bearing capacity.

Key words: steel chimney, shell, stress-strain state, rational design solution, angle of coverage of the support segment, effective height, support node, system of annular support ribs, system of local support ribs.

For citation:

Golikov A. V., Kuchina M. S., Garanzha I. M. [Improvement of the structural form of the support unit for the steel chimney trunk on the supporting structure]. *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], 2020, iss. 3, pp. 4—17.

About authors:

Alexander V. Golikov — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alexandr_golikov@mail.ru

Mariya S. Kuchina — Master's Degree Student of the Department of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; kuchina95@bk.ru

Igor M. Garanzha — Docent of Civil Engineering Department, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6687-7249, garigo@mail.ru

УДК 662.7

А. В. Голиков^а, Д. И. Субботин^а, Д. В. Куранов^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *ООО «Универсал ТС»*

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕСУЩЕГО КАРКАСА ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ

В статье систематизированы и описаны основные типы промышленных печей и технологические требования к их конструкции. В качестве объекта исследования данной работы выбраны печи трубчатой конструкции по причине широкого распространения на практике. Приведен анализ основных нагрузок на несущий остов печи. Предложены и проанализированы варианты расчетных схем и расчетных сечений основных несущих конструкций печи. Выполнен расчет несущих конструкций печи на воздействие нагрузок, таких как взрыв, ветер и собственный вес печи. Ранжированы по степени влияния на отдельные конструктивные элементы наиболее неблагоприятные сочетания нагрузок. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния несущих конструкций печи и их работы под нагрузкой. По результатам натурных обследований установлено, что около 10 % печей эксплуатируется с повреждениями в виде значительных искривлений несущих конструкций, которые развились в результате взрыва газозооушной смеси и технологического продукта внутри пространства печи. Достоверность предложенных в данной работе расчетных моделей подтверждена данными натурных замеров в части степени развития повреждений несущих конструкций печей. По результатам анализа повреждаемости конструкций трубчатых печей, характера работы под нагрузкой и сопоставления результатов расчета несущего остова печей с натурными данными определены пути оптимизации конструктивных решений промышленной печи.

К л ю ч е в ы е с л о в а: промышленные печи, обследование, повреждения, деформации, напряженно-деформированное состояние.

Введение

Длительный период времени конструкции промышленных печей относились к оборудованию. При выполнении оценки технического состояния большая часть внимания уделялась поддержанию работоспособного состояния технологического оборудования, в частности конструкции змеевиков и футеровки. По результатам осмотра несущих конструкций печей, находящихся в эксплуатации, установлено развитие значительных повреждений, реализовавшихся в виде искривлений элементов каркаса стрелкой до 150 мм. Анализ литературы показал отсутствие четких систематизированных знаний о принципах компоновки каркаса несущего остова печи, отсутствие методов расчета и формализованных принципов проектирования.

Конструктивная форма сооружения образуется под воздействием влияющих факторов (рис. 1). На конструктивную форму оказывают влияние технологический процесс, осуществляемый внутри рабочего пространства сооружения, характер действующих нагрузок и характер повреждаемости несущих конструкций под воздействием нагрузок и среды эксплуатации.

Предметом исследования данной работы являются качественные и количественные характеристики явлений распределения усилий и деформаций в несущих конструкциях печи под влиянием нагрузок и воздействий.

Объектом исследования является конструктивная форма несущего остова трубчатых печей.



Рис. 1. Механизм принятия решения о необходимости совершенствования конструктивной формы сооружения

Конструктивная форма трубчатых печей представлена несущими конструкциями, объединенными в единую пространственную систему, несущий остов, и ограждающими конструкциями, изолирующими и защищающими внутреннюю среду от внешней среды и воздействий с ее стороны.

Целью исследования является оценка достоверности расчетных моделей трубчатых печей на основе систематизации знаний о формообразующих факторах и степени их влияния на работу каркаса.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи исследования:

- выполнен анализ существующего опыта проектирования и расчета печей;
- определены основные нагрузки и характер их воздействия на несущий каркас печи;
- созданы расчетные схемы исследуемого типа печи, определена достаточная для получения достоверных результатов степень детализации расчетной схемы;
- исследована работа несущего каркаса печей под нагрузками;
- установлены наиболее неблагоприятные сочетания нагрузок и их вклад в напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции печи;
- предложены мероприятия по совершенствованию существующих конструктивных решений выбранного типа печи для обеспечения работоспособности в течении проектного срока службы.

Анализ конструктивных решений и опыта проектирования промышленных печей

По конструктивной схеме промышленная печь представляет собой сложную пространственную систему, состоящую из стержней и пластин. Работа стержней и пластин описана в работах [1—7].

В работе Jacques Dugué [8] рассмотрены основные причины аварийных ситуаций на промышленных печах, связанные с нарушением технологии, такие как:

- недостаточная продувка во время запуска в основном из-за протечек, поврежденных или заблокированных одиночных предохранительных запорных клапанов;
- несоблюдение процедуры безопасного запуска печи в работу;
- задержка воспламенения при запуске, при этом газ не воспламеняется, как только он входит в печь, а вместо этого собирается в несгоревшем облаке перед воспламенением;
- неправильное соотношение топлива и воздуха, в результате чего горелки не воспламеняются;
- наличие жидких конденсатов или инертных веществ в системе топливного газа, вызванное недостатками в конструкции сети топливного газа;
- неисправность трубки, вызывающая большой и внезапный выброс углеводородов в камеру сгорания.

В работе [8] описываются недостатки взрывных окон, предназначенных для снижения давления взрыва на конструкции печи. Отмечается постепенный сдвиг в нефтегазовой промышленности в сторону удаления или сварки взрывных окон, что не является рациональным решением данной проблемы.

Особенности воздействия взрыва на несущие и ограждающие конструкции, а также методы расчета приведены в работах [9—19].

В главе 11 книги [20] рассмотрены принципы расчета и проектирования промышленных печей. Описаны несущие и ограждающие конструкции печи, а также основные нагрузки, действующие на них. В перечне основных нагрузок нагрузка от взрыва не приведена, следовательно, расчет на нее не производился.

В нормативной и руководящей литературе по проектированию печей как конструкций, относящихся к установкам нагревательных для нефтеперерабатывающих заводов, в частности в ГОСТ Р 53682—2009 (ИСО 13705:2006) «Установки нагревательные для нефтеперерабатывающих заводов. Общие технические требования», отсутствуют указания по учету взрывного воздействия при расчете нагрузок на печи и отсутствуют указания о методах моделирования конструкций несущего каркаса.

В работе Г. Г. Орлова, Д. А. Крольченко и А. В. Ляпина [4] приведена требуемая площадь легкобрасываемых конструкций, а также давление их активации. Определены степени взрывоопасности горючих веществ и классы взрывоустойчивости зданий и сооружений. Проблема фактической нагрузки от взрыва на несущие конструкции не затронута.

Классификация промышленных трубчатых печей по конструктивным признакам приведена в работах С. Ю. Ляшонок [21] и Н. Р. Ентус [22]. В работе С. Ю. Ляшонок [21] также указана необходимость оптимизации как оборудования печи, так и несущих и ограждающих конструкций по причине низкого КПД существующих печей, неэкономного расходования ресурсов и значительных капитальных затрат при эксплуатации.

Конструктивная схема

Поскольку наиболее распространенными из номенклатуры промышленных печей, предназначенных для перегонки нефти, являются коромысловые пе-

чи, основная исследовательская работа сосредоточена на анализе напряженно-деформированного состояния несущих конструкций печи и их работе под нагрузкой.

По конструктивной схеме (рис. 2) печь представляет собой прямоугольный сосуд-кожух с продольными (вертикальные стойки) и поперечными (горизонтальные ригели) элементами жесткости.

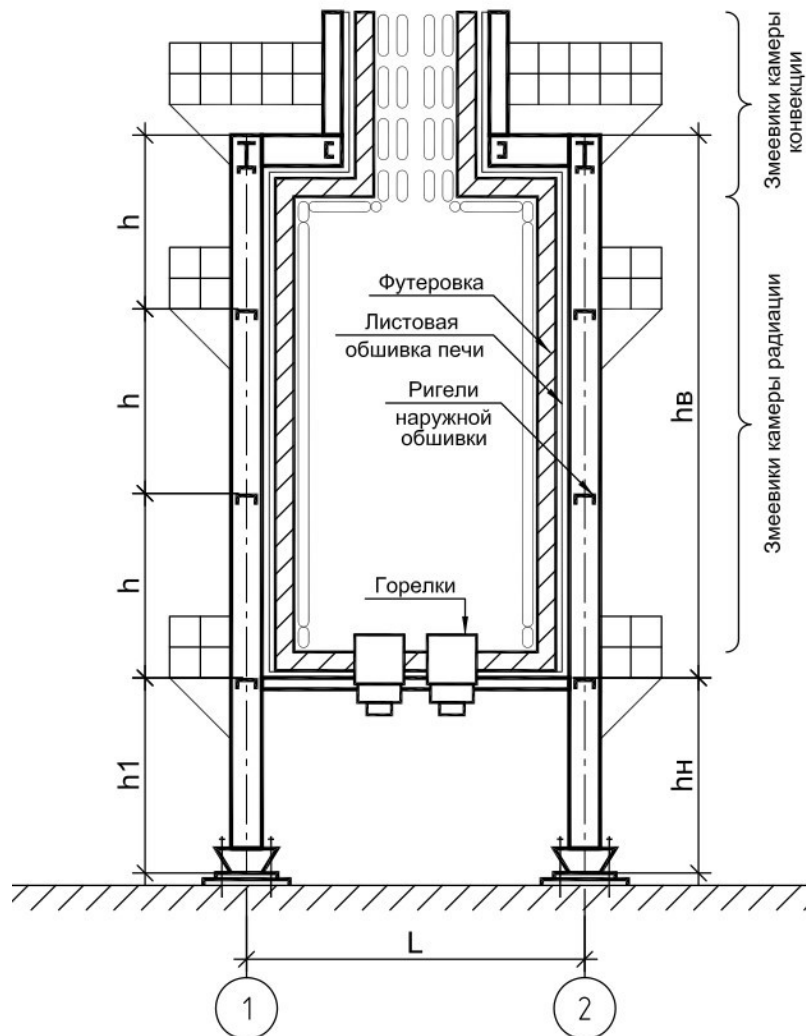


Рис. 2. Конструктивная схема трубчатой коробчатой печи и основные размеры

Пространственная неизменяемость сооружения обеспечивается жестким креплением опорных стоек к фундаментам, системой связей между стойками жестким сопряжением элементов несущего остова печи между собой.

Основные нагрузки, действующие на конструкцию печи: собственный вес, вес технологического оборудования, ветровая нагрузка, нагрузка от взрыва. Собственный вес включает в себя вес несущего каркаса, кожуха и футеровки.

Сбор нагрузок и создание расчетной схемы. Анализ принципов разработки расчетных схем

При разработке расчетной схемы (рис. 3) необходимо обеспечить ее соответствие конструктивной схеме. Для обеспечения соответствия работы идеализированной модели печи действительной работе физического объекта необходимо приложить нагрузки, а также реализовать действительный характер восприятия и перераспределения усилий между элементами.

Пространственная расчетная схема объекта исследования включает в себя плоские вертикальные и горизонтальные рамы. Плоские рамы являются основными конструктивными элементами каркаса. Корректно разработанные плоские рамы позволяют получить пространственную модель, отражающую действительную работу каркаса печи под нагрузкой. Типовые плоские рамы каркаса печи приведены на рис. 3. Следует учитывать, что расчет отдельных плоских рам не позволяет в должной мере получить реальную картину перераспределения усилий, возникающих за счет пространственной работы каркаса печи. Расчет упругоподатливых связей, необходимых для расчета отдельных плоских рам, является весьма сложной и трудоемкой задачей.

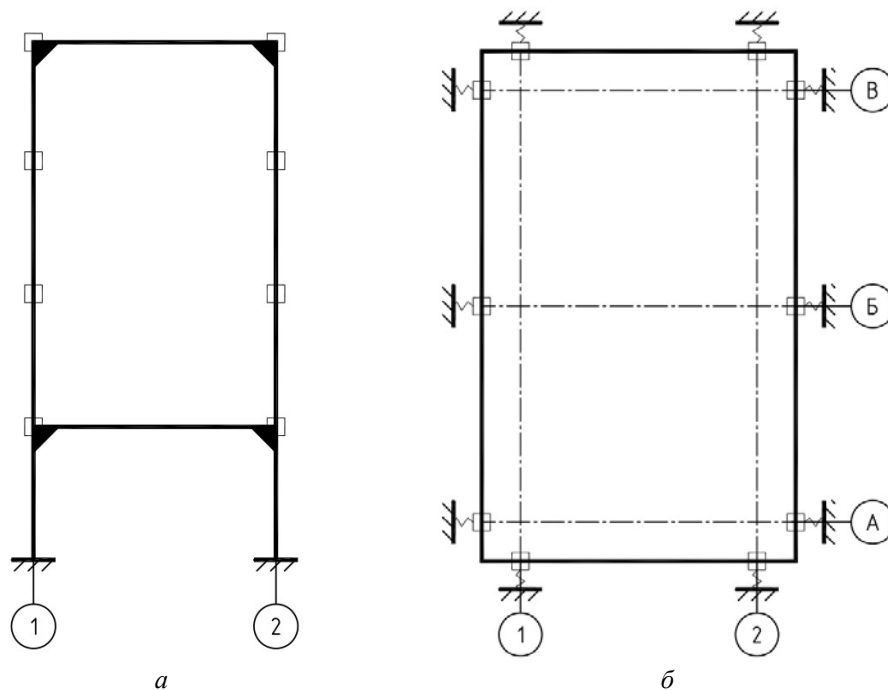


Рис. 3. Идеализированные плоские расчетные схемы конструкции печи:
a — вертикальная рама; *б* — горизонтальная рама

Нагрузка от веса футеровки прикладывается на несущий каркас с эксцентриситетом, равным половине толщины футеровки и половине высоты сечения стойки каркаса.

Нагрузка от технологического оборудования прикладывается на несущий каркас с эксцентриситетом, равным половине диаметра змеевика, толщине футеровки и половине высоты сечения стойки каркаса.

Ветровая нагрузка прикладывается на всю поверхность кожуха печи (рис. 4).

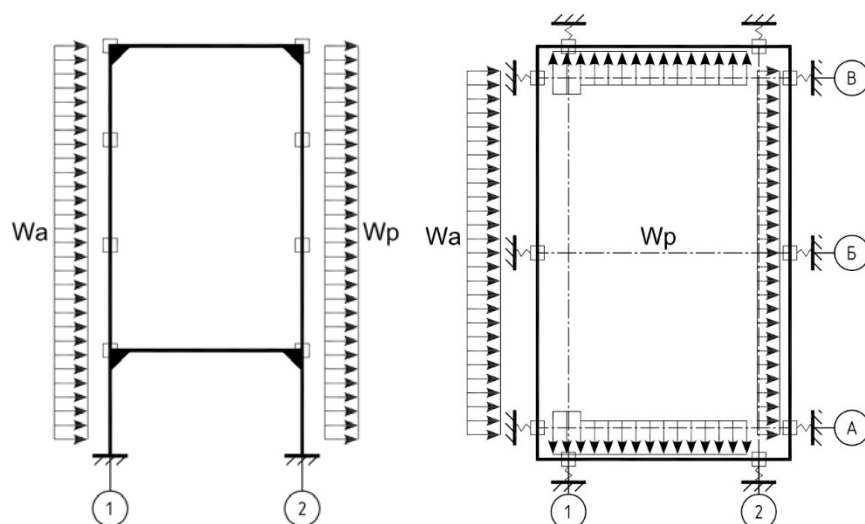


Рис. 4. Схема приложения ветровой нагрузки

Схема приложения нагрузки от действия взрыва приведена на рис. 5.

В момент взрыва из-за мгновенного воздействия нагрузки в совместную работу каркаса и кожуха включается также футеровка, принимая на себя значительную часть сжимающих усилий, при этом продольные стойки находятся в зоне растяжения.

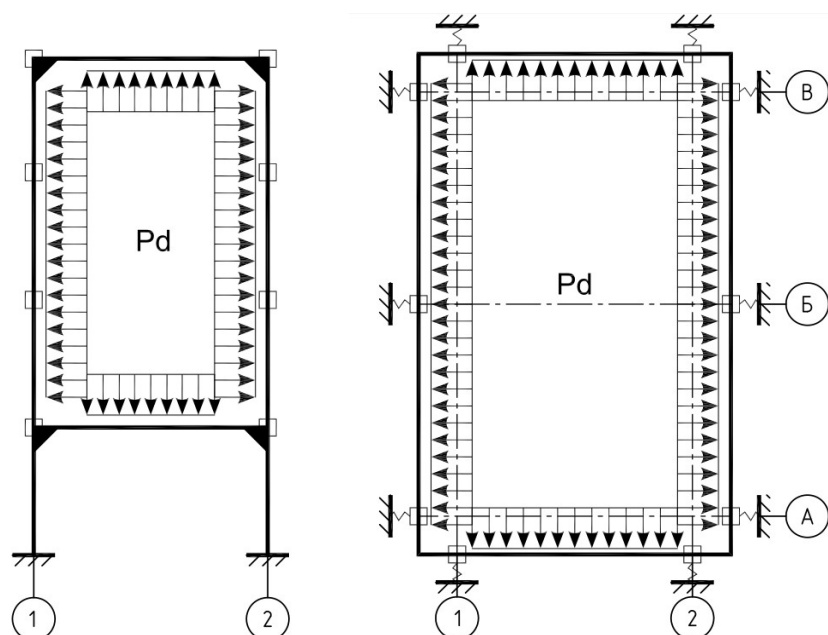


Рис. 5. Схема приложения взрывной нагрузки

В ГОСТ Р 53682—2009 «Установки нагревательные для нефтеперерабатывающих заводов. Общие технические требования» не указываются возможность и механизмы учета совместной работы стального каркаса и футеровки печи. Результаты моделирования работы стального каркаса без учета возможности включения футеровки при действии взрыва не совпадают с результатами натурных измерений значений искривлений — искривления стоек печи без учета включения футеровки в совместную работу более чем в два раза выше значений искривлений, полученных при натурных измерениях.

Расчетная ширина учитываемого участка футеровки в соответствии с «Пособием по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры» определяется как минимальная из двух условий:

1) свес должен быть не более $1/6$ расчетной длины колонны, т. е.

$$b_{ef} \leq \frac{1}{6} L ;$$

2) при толщине футеровки, превышающей $1/10$ высоты объединенного сечения стойки, расчетный свес принимается не более половины расстояния между стойками, т. е. $b_{ef} \leq 0,5 a$.

В зоне пассивного давления ветра футеровка не включается в работу. В расчете рассматривается составное сечение — стойка с участком обшивки (рис. 6).

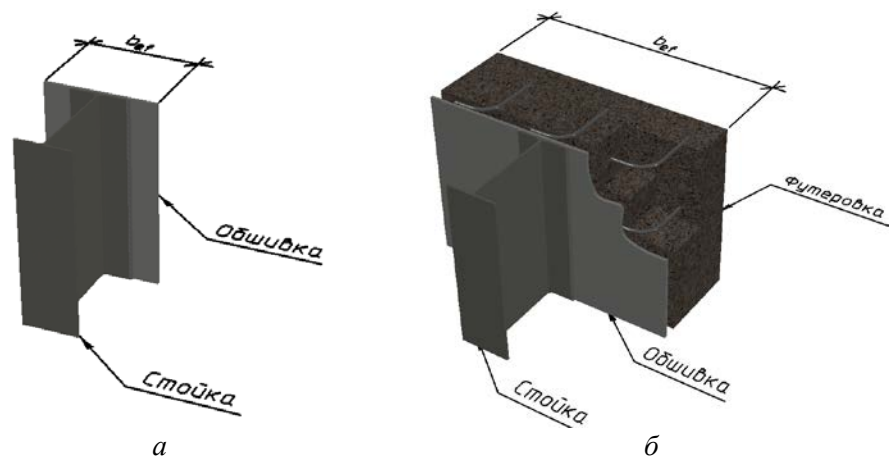


Рис. 6. Расчетные типы сечений стойки печи: а — составное сечение стойки с участком обшивки; б — сталебетонное сечение стойки с участком футеровки

Ширина учитываемого участка обшивки составного сечения в соответствии с п. 8.5.17 СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» вычисляется по формуле:

$$b = 0,65 t_w \sqrt{\frac{E}{R_y}}, \quad (1)$$

где t_w — толщина кожу́ха, мм; E — модуль упругости, МПа; R_y — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, МПа.

Вводим допущение, что в зоне сжатия длина листа обшивки, учитываемая при работе стойки, должна быть не менее расчетной ширины футеровки.

В соответствии с п. 7.2.3 СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия» в качестве расчетной нагрузки на несущие и ограждающие конструкции при взрывах газа в закрытых помещениях объемом до 1000 м³ с вентилируемыми проемами учитывается статическое давление взрыва p_d , равное наибольшему из значений (2) и (3):

$$p_d = 0,3 + 0,1p_v; \quad (2)$$

$$p_d = 0,3 + 0,05p_v + \frac{0,004}{(A_v/V)^2}, \quad (3)$$

где A_v — площадь вентилируемых проемов, м²; V — объем помещения, м³; p_v — давление активации вентилируемого элемента, МПа, при котором происходит нарушение герметичности помещения или срабатывает механизм предустановленных легкобрасываемых строительных элементов конструкции.

В соответствии с п. D. 2 EN 1991-1-7: Eurocode 1: Actions on structures — Part 1—7: General rules and rules for buildings — Brussels: European committee for standardization в зданиях с подключением газа конструкции допускается рассчитывать на взрыв газа внутри помещений, используя эквивалентное статическое номинальное давление, определяемое по формулам 4 и 5, при этом определяющим большее значение:

$$p_d = 3 + p_{stat}; \quad (4)$$

$$p_d = 3 + \frac{p_{stat}}{2} + \frac{0,004}{(A_v/V)^2}, \quad (5)$$

где p_{stat} — равномерно распределенное статическое давление, при котором происходит срабатывание легкобрасываемых элементов, кН/м².

Эквивалентная нагрузка от взрыва, вычисленная по формулам (2), (3), предлагаемыми отечественными нормами отличается от (4), (5) в 100 раз. На примере несущего каркаса печи нагрузка составляет 3000 кПа и 30 кПа соответственно. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты расчетов усилий и деформаций по различным формулам.

Т а б л и ц а 1

*Сравнение усилий и деформаций в зависимости от нагрузки
и расчетной ситуации*

Стойка по оси [Б]	Усилия		Деформации	
	N, кН	M, кН · м	X, мм	Z, мм
Без учета футеровки от нагрузок по СП	233476,0	49288,3	16028,6	531,9
Без учета футеровки от нагрузок по EN	2299,3	494,6	162,3	4,81
С учетом футеровки от нагрузок по СП	18336,7	1816,9	328,7	21,7
С учетом футеровки от нагрузок по EN	266,7	23,5	2,5	0,4

При анализе воздействия ветровой нагрузки на несущие конструкции печи выявлены две расчетные ситуации. В зоне активного давления ветра стойка воспринимает растягивающие усилия, а футеровка, за счет гибких упоров включаясь в совместную работу каркаса, воспринимает усилия сжатия. В расчете рассматривается сталебетонное сечение (см. рис. 6).

Расчетные положения

Расчет элементов конструкций несущего каркаса в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» был выполнен на основные и особые сочетания нагрузок:

- РСН1 — собственный вес + вес от технологического оборудования + ветер в поперечном направлении;
- РСН2 — собственный вес + вес от технологического оборудования + ветер в продольном направлении;
- РСН3 — собственный вес + вес от технологического оборудования + нагрузка от взрыва + ветер в поперечном направлении;
- РСН4 — собственный вес + вес от технологического оборудования + нагрузка от взрыва + ветер в продольном направлении.

Коэффициенты сочетания нагрузок были приняты в соответствии с п. 6 СП 20.13330.2016 (см. изм. 1 к СП 20.13330).

Проверка сечений элементов каркаса производилась на наиболее неблагоприятные сочетания нагрузок — РСН1 и РСН3.

В первом варианте расчетной схемы (рис. 7) была реализована совместная работа несущего каркаса и кожуха печи. Анализ полученных результатов расчета выявил необходимость корректировки расчетной схемы из-за значительных деформаций, не соответствующих действительности.

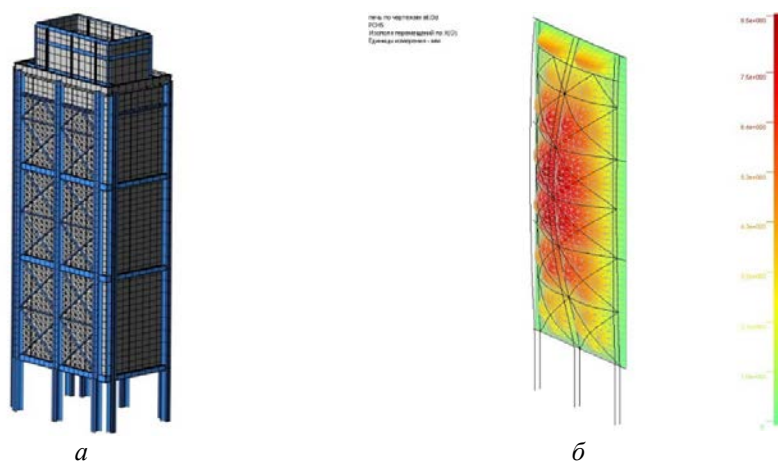


Рис. 7. Пространственная расчетная схема односекционной печи: а — расчетная схема печи; б — деформации при моделировании первого типа сечения

Выполнено моделирование конструкций печи с учетом предложенных (рис. 6) типов сталебетонных сечений. Результаты расчетов каркасов печей при моделировании в расчетах сталебетонного сечения, представленные в виде горизонтальных деформаций, приведены на рис. 8, 9 и 10 соответственно для одно-, двух- и трехсекционных печей.

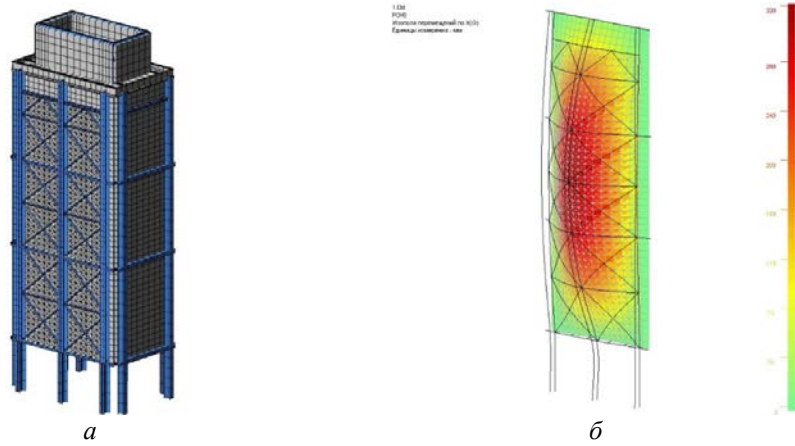


Рис. 8. Пространственная расчетная схема односекционной печи: *a* — расчетная схема печи; *б* — деформации при моделировании сталебетонного типа сечения

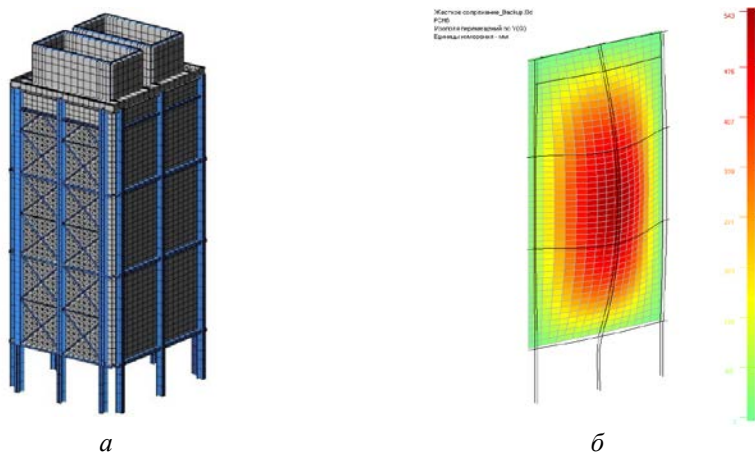


Рис. 9. Пространственная расчетная схема двухсекционной печи: *a* — расчетная схема печи; *б* — деформации при моделировании сталебетонного типа сечения

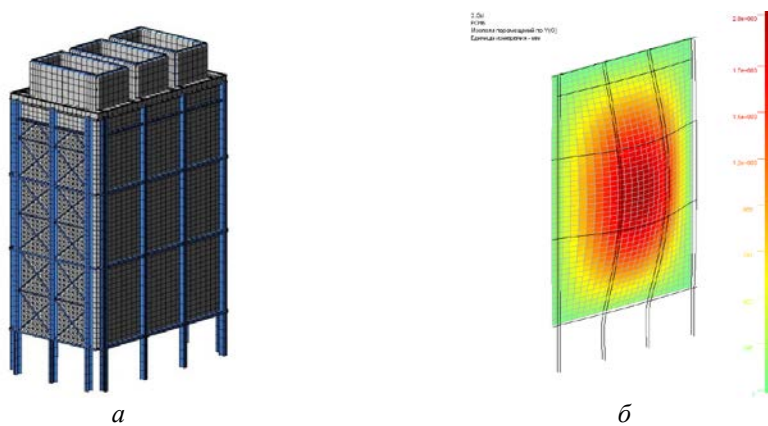


Рис. 10. Пространственная расчетная схема трехсекционной печи: *a* — расчетная схема печи; *б* — деформации при моделировании сталебетонного типа сечения

Данные об уровне распределения усилий и напряжений в элементах каркаса односекционной печи от действия нагрузок по РСН1 и РСН3 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Усилия в элементах в зависимости от РСН

Элемент	Сечение	№ РСН	Усилие		Напряжение σ , кН/см ²
			M, кН · м	N, кН	
1	2	3	4	5	6
Стойки по оси [Б]	2 шв 30	1	61,3	223,2	18,3
		3	634,4	2306,8	189,6
Балка пода	Коробка из 2 шв 24П	1	4,7	13,9	3,2
		3	-138,9	461,4	45,4
Обвязка пода	шв 30П	1	-9,3	11,8	2,1
		3	-51,5	189,7	13,2
Балка на отметке +7,050 м	Коробка из 2 шв 24П	1	1,24	-32,5	2,3
		3	-135,15	1583,4	67,2
Обвязка на отметке +7,050 м	шв 30П	1	3,13	19,9	1,3
		3	-135,15	591,1	36,6
Балка на отметке +11,250 м	Коробка из 2 шв 24П	1	1,25	-32,4	2,3
		3	-143,6	1741,1	74,4
Обвязка на отметке +11,250 м	шв 30П	1	3,22	20,4	1,3
		3	-143,6	536,3	36,5
Балка на отметке +15,650 м	Составное сечение	1	2,1	-4,9	2,5
		3	-59,2	90,4	18,9

Данные об изменении усилий в ригелях печи в зависимости от количества секций приведены в табл. 3 и 4 соответственно от воздействия нагрузок по РСН1 и РСН3.

Таблица 3

Усилия в элементах от воздействия РСН1 в зависимости от количества секций

Элемент	Сечение	Количество секций	Усилие		Напряжение σ , кН/см ²
			M, кН · м	N, кН	
1	2	3	4	5	6
Ригель*	шв 30П	1	1,8	15,1	1,2
		2	1,6	27,3	1,73
		3	3,5	24,7	1,44

*Приведен наиболее нагруженный элемент расчетной схемы.

Таблица 4

Усилия в элементах от воздействия РСН3 в зависимости от количества секций

Элемент	Сечение	Количество секций	Усилие		Напряжение σ , кН/см ²
			M, кН · м	N, кН	
1	2	3	4	5	6
Ригель*	шв 30П	1	102,0	793,3	36,2
		2	357,6	1663,9	132,2
		3	441,1	2071,0	167,3

*Приведен наиболее нагруженный элемент расчетной схемы.

Графически влияние количества секций печи на изменение усилий в ригелях печи представлено на рис. 11 и 12 соответственно от воздействия нагрузок по РСН1 и РСН3.

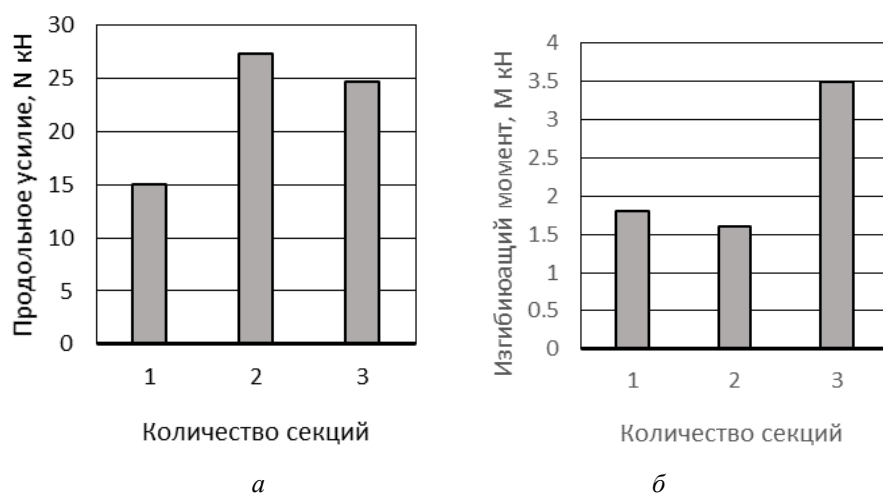


Рис. 11. Влияние количества секций на усилие в ригеле от воздействия нагрузок по РСН1: *а* — продольное усилие; *б* — изгибающий момент

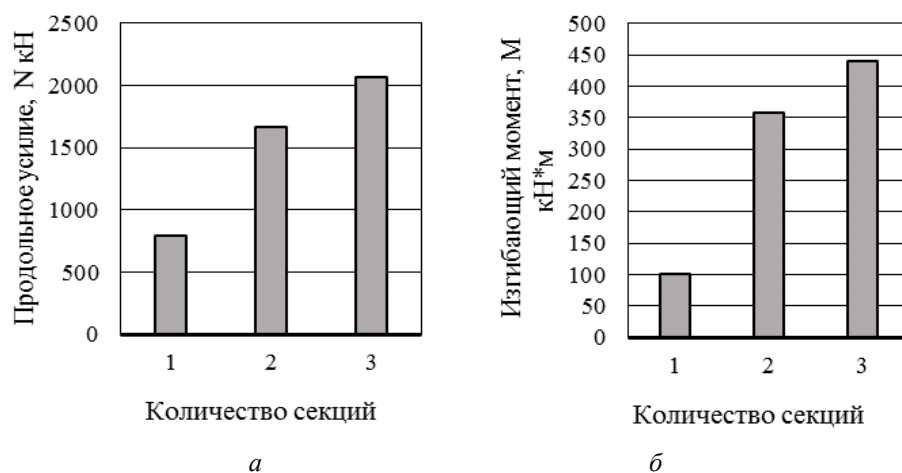


Рис. 12. Влияние количества секций на усилие в ригеле от воздействия нагрузок по РСН3: *а* — продольное усилие; *б* — изгибающий момент

Характер распределения напряжений в сечении объединенных сталебетонных стойках представлен на рис. 13.

При анализе результатов расчета было выявлено, что сечения элементов каркаса, примененные при строительстве печей, не проходят проверку по предельным состояниям при воздействии нагрузки от взрыва. Для обеспечения требований предельных состояний требуется увеличение размеров сечений.

По результатам анализа НДС было выявлено, что традиционная конструктивная форма печи не способна воспринимать нагрузки от воздействия

взрыва, что приводит к нерациональному использованию конструктивных элементов, следовательно, появилась необходимость в оптимизации конструктивной формы промышленной печи.

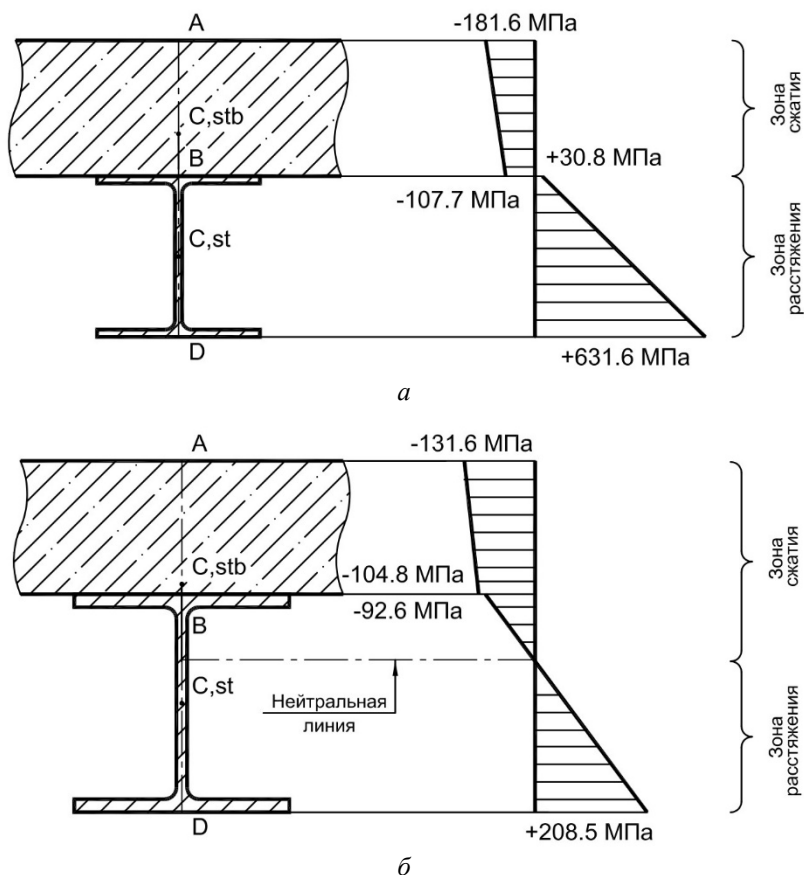


Рис. 13. Эпюры нормальных напряжений объединенного сталебетонного сечения: *а* — эквивалентное имеющемуся сечению двутавр 30К1; *б* — подобранное сечение двутавр 40К3

Направления оптимизации конструктивной формы печи:

- оптимизировать конструкцию взрывных окон;
- предложить и исследовать конструктивную форму несущего каркаса, описывающую форму решающего воздействия;
- предложить конструкцию сборно-разборных систем несущего остова.

Выводы

Основные выводы, полученные в результате анализа конструктивной формы печей и исследования НДС конструкций печей при работе под нагрузкой:

- по результатам систематизации знаний об основных формообразующих факторах, таких как нагрузки, воздействия и технологический процесс, осуществляемый во внутренней среде, установлено, что совершенствование конструктивной формы следует осуществлять по критериям совершенствования моделей нагрузок и расчетных моделей несущего конструктивного остова;

- по результатам выполненного анализа опыта проектирования печей установлено отсутствие в нормативной, справочной и руководящей литературе указаний по проектированию и актуальных методов расчета конструкций несущего остова печей;
- сопоставление усилий и напряжений, полученных по результатам расчета несущего каркаса печи, позволило установить, что решающей нагрузкой при подборе сечений является нагрузка от взрыва; по данным осмотров печей воздействию взрыва подвергается 5...10 % от всего количества печей;
- при разработке расчетных моделей для получения достоверных результатов расчета элементов несущего каркаса печей необходимо учитывать совместные смещения стыкуемых конструкций, вызывающие появление дополнительных моментов при передаче силы от элемента к элементу с эксцентриситетом; при расчете стоек каркаса печи особое внимание необходимо обращать на направление изгиба стоек, учитывая наличие свободных при работе полков колонн и полков колонн, закрепленных элементами связей и обшивкой печи;
- ряд проведенных численных экспериментов по исследованию работы несущего каркаса печей под нагрузкой показали, что конструкции печей на действие комбинаций нагрузок «вес + вес сырья + ветер» работают с запасами более 50 %, на действие комбинаций нагрузок с учетом взрывного воздействия — работают с перенапряжением 100 %, 300 %, а для некоторых элементов и деталей узлов и более; при реализации нагрузок совместно со взрывным воздействием каркас печи работает за пределами прочности, что подтверждают данные осмотров печей;
- проведенные исследования обосновали необходимость совершенствовать конструктивную форму в следующих направлениях: совершенствование конструкции взрывных окон; разработки внешней несущей конструктивной формы печи, способной эффективно без разрушения воспринимать определяющие нагрузки и воздействия, обеспечивая при этом постоянство внутренней технологической среды применения сборно-разборных конструкций, позволяющей быстро выполнить замену изношенных участков, исключая остановку производства на длительный ремонт;
- результаты выполненных расчетов несущих конструкций печи на действия основных и особых сочетаний нагрузок, наиболее близко согласующиеся с данными обследований, получены при моделировании нагрузок от взрыва «без учета футеровки от нагрузок по EN» и «с учетом футеровки от нагрузок по СП»;
- для совершенствования расчетных моделей каркасов трубчатых печей (моделей, полученных по результатам проведения серии численных экспериментов), способных в полной мере описывать действительную работу несущих конструкций при моделировании нагрузок от взрывного воздействия, необходимо выполнить моделирование процесса взрыва на физических моделях с целью установления фактических значений избыточного давления газозвдушной смеси внутри рабочего пространства печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Timoshenko S. P., Gere J. M. Theory of Elastic Stability. McGraw, 1963. 560 с.
2. Вольмир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. М. : Наука, 1972. 432 с.
3. Вайнберг Д. В., Вайнберг Е. Д. Расчет пластин. К. : Будівельник, 1970. 436 с.

4. Орлов Г. Г., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Оптимизация требований к конструктивным и объемно-планировочным решениям при проектировании зданий и сооружений для взрывоопасных производств // Пожаровзрывобезопасность. Fire and Explosion Safety. 2014. № 23(11). С. 67—74.
5. Евзеров И. Д. Задачи устойчивости для стержней и пластин. Инженерно-строительный журнал. 2014. № 1(45). С. 6—11. DOI: 10.5862/MCE.45.2.
6. Лалин В. В., Рыбаков В. А., Морозов С. А. Исследование конечных элементов для расчета тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 1(27). С. 53—73. DOI: 10.5862/MCE.27.7.
7. Лалин В. В., Рыбаков В. А. Конечные элементы для расчета ограждающих конструкций из тонкостенных профилей // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8(26). С. 69—80. DOI: 10.5862/MCE.26.11.
8. Dugué J. Fired equipment safety in the oil & gas industry A review of changes in practices over the last 50 years // Energy Procedia. 2017. 120. С. 2—1. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.151.
9. Ройтман В. М. Общий подход и инженерный метод оценки стойкости зданий при комбинированных особых воздействиях типа «удар — взрыв — пожар» // Пожаровзрывобезопасность. 2003. С. 62—67.
10. Чернуха Н. А. Особенности расчета сооружений на взрывные воздействия в среде SCAD // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 1. С. 12—22. DOI: 10.5862/MCE.45.3/
11. Кочетов О. С. Защитные конструкции при дефлаграционном взрыве внутри зданий // Символ науки. 2015. С. 3—6.
12. Braimah A., Siba F. Near-field explosion effects on reinforced concrete columns: an experimental investigation // Civil Engineering. 2018. No. 45(4). Pp. 289—303. DOI: 10.1139/cjce-2016-0390.
13. Hutchinson J. W., Budiansky B. Dynamic Buckling Estimates // AIAA Journal. 2012. DOI: 10.2514/3.3468.
14. Dynamic buckling of stiffened plates subjected to explosion impact loads / J. Wang, J. Guo, X. L. Yao etc. // Shock Waves. 2017. No. 27. Pp. 37—52. DOI: 10.1007/s00193-016-0638-z.
15. Judah A. G., Samuel R. S. Dynamic pulse buckling of rectangular composite plates // Compos. 1997. Part B 28B. Pp. 301—308. DOI: 10.1016/S1359-8368(96)00028-5.
16. Petry D., Fahlbusch G. Dynamic buckling of thin isotropic plates subjected to in-plane impact // Thin-Walled Struct. 2000. No. 38. Pp. 267—283. DOI: 10.1016/S0263-8231(00)00037-9.
17. Azevedo R. L., Alves M. A numerical investigation on the visco-plastic response of structures to different pulse loading shapes // Eng. Struct. 2008. No. 30(1). Pp. 258—267. DOI: 10.1016/j.engstruct.2007.04.002.
18. Richard Liew J. Y., Chen H. Explosion and fire analysis of steel frames using fiber element approach // Journal of Structural Engineering. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:7(991).
19. Chen H., Liew J. Y. R. Explosion and fire analysis of steel frames using mixed element approach // Journal of Engineering Mechanics. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:6(606).
20. Mullinger P., Jenkins B. Industrial and Process Furnaces — Principles, Design and Operation. Oxford : Elsevier, 2008. 524 p.
21. Ляшонок С. Ю., Дьячкова С. Г. Обзор конструктивных особенностей трубчатых печей // Вестник ИргТУ. 2013. № 12(83). С. 213—218.
22. Ентус Н. Р., Шарихин В. В. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М., 1987. 304 с.

© Голиков А. В., Субботин Д. И., Куранов Д. В., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Голиков А. В., Субботин Д. И., Куранов Д. В. Оценка достоверности расчетных моделей несущего каркаса трубчатых печей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 18—33.

Об авторах:

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

Субботин Дмитрий Игоревич — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dmitrysubbotin26@gmail.com

Куранов Дмитрий Владимирович — эксперт промышленной безопасности, ООО «Универсал ТС». Российская Федерация, 119361, г. Москва, ул. Озерная, 42, помещение 1, оф. 20; diman408@mail.ru

Alexander V. Golikov^a, Dmitry I. Subbotin^a, Dmitry V. Kuranov^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *LLC «Universal TS»*

THE RELIABILITY ASSESSMENT OF DESIGN MODELS OF THE SUPPORTING FRAME OF TUBULAR FURNACES

The article systematizes and describes the main types of industrial furnaces and the technological requirements for their design. As the object of study of this work, tube-type furnaces were selected because of their widespread use in practice. The analysis of the main loads on the supporting frame of the furnace is given. Variants of design schemes and design sections of the main supporting structures of the furnace are proposed and analyzed. The design of the furnace supporting structures for the effects of loads such as explosion, wind and dead weight of the furnace was calculated. The most unfavorable combinations of loads are ranked by the degree of influence on individual structural elements. The analysis of the stress-strain state of the supporting structures of the furnace and their work under load. According to the results of field surveys, it was found that about 10 % of the furnaces are operated with damage in the form of significant distortions of the supporting structures that developed as a result of the explosion of the gas-air mixture and the technological product inside the furnace space. The reliability of the calculation models proposed in this work is confirmed by field measurements in terms of the degree of development of damage to the supporting structures of furnaces. Based on the results of the analysis of the damageability of the designs of tubular furnaces, the nature of work under load and the comparison of the calculation results of the supporting frame of the furnaces with field data, the ways of optimizing the design solutions of an industrial furnace are determined.

Key words: industrial furnaces, examination, damage, deformations, stress-strain state.

For citation:

Golikov A. V., Subbotin D. I., Kuranov D. V. [The reliability assessment of design models of the supporting frame of tubular furnaces]. *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], 2020, iss. 3, pp. 18—33.

About authors:

Alexander V. Golikov — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alexandr_golikov@mail.ru

Dmitry I. Subbotin — Master's Degree Student of Department of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University. 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dmitrysubbotin26@gmail.com

Dmitry V. Kuranov — Industrial Safety Expert, "Universal TS" LTD. 42, Ozeraya st., Moscow, 119361, Russian Federation; diman408@mail.ru

УДК 624.04:627.43

М. П. Саинов, Ф. В. Котов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ НА ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЕЕ БЕТОННОГО ЭКРАНА

Исследовано влияние на величину напряжений, возникающих в бетонном экране каменно-набросной плотины, от температурного воздействия таких факторов, как деформируемость каменной наброски и сдвиговые характеристики контакта экрана с телом плотины. Показано, что степень влияния этих факторов зависит от характера температурного воздействия: при равномерном распределении температуры их влияние существенно, а при неравномерном — отсутствует. С точки зрения трещинообразования в экране наиболее неблагоприятным является начальный интервал времени после изменения уровня водохранилища, когда изменение температуры охватывает лишь напорную часть экрана. В современных плотинах, с высоким качеством уплотнения каменной наброски, бетонный экран более восприимчив к равномерному изменению температуры.

Ключевые слова: каменно-набросная плотина с бетонным экраном, температурное воздействие, температурные напряжения, трещиностойкость, прочность.

Введение

Каменно-набросные плотины с бетонным экраном (КНБЭ) являются распространенным и перспективным типом плотин [1], однако опыт их эксплуатации свидетельствует о недостаточном уровне надежности бетонных экранов. В научно-технической литературе [2—7] описан ряд случаев образования в бетонных экранах (БЭ) сквозных протяженных трещин. В связи с этим одной из важных задач гидротехнической науки является выявление причин нарушения целостности БЭ.

Одной из таких причин является влияние температурных воздействий. При охлаждении (которое происходит, например, при изменении уровня водохранилища) бетонный экран испытывает деформации укорачивания, вызывающие растягивающие напряжения. Для восприятия температурно-влажностных усилий экран армируют [1].

Тем не менее вопрос о влиянии температурных воздействий на напряженно-деформированное состояние (НДС) БЭ в настоящее время изучен недостаточно. Нами выявлена лишь одна публикация, посвященная этому вопросу [8].

Предыдущие наши исследования [9, 10] показали, что термонапряженное состояние БЭ является довольно благоприятным. Благодаря тому, что деформируемость каменной наброски много меньше, чем у бетона, обеспечивается свобода температурных деформаций экрана. Каменная наброска позволяет экрану расширяться или укорачиваться для компенсации возникающих в нем внутренних усилий от изменения температуры. Из-за этого даже значительные колебания температур не вызывают в бетонном экране высоких температурных напряжений. При модуле деформации каменной наброски $E = 60$ МПа растягивающие напряжения в БЭ примерно на порядок меньше, чем внутренние усилия от изменения температуры.

Однако внутренние усилия в экране компенсируются не полностью, т. к. между экраном и плотиной действуют силы трения. Степень снижения температурных напряжений зависит от деформируемости каменной наброски плотины и от сдвиговых характеристик контакта БЭ с телом плотины. Поэтому сделанные ранее нами выводы распространяются не на все возможные случаи.

В современных плотинах каменную наброску уплотняют очень тщательно, что позволяет значительно снизить ее деформируемость. Обработка результатов натурных измерений за деформациями ряда плотин [11, 12] позволила нам установить, что модуль линейной деформации каменной наброски может достигать почти 500 МПа [13]. Кроме того, поверхность под БЭ формируют из бордюрных блоков, выполненных из малоцементного бетона [14]. Можно ожидать, что повышение жесткости подэкрановой подготовки может привести к увеличению восприимчивости БЭ к температурным воздействиям.

Однако следует учитывать, что в конструкциях современных КНБЭ предусматриваются мероприятия по снижению трения на контакте между экраном и подэкрановой подготовкой — поверхность контакта покрывается битумной эмульсией. Это способствует свободе деформаций БЭ при температурных воздействиях.

В данной статье описываются результаты нашего исследования по оценке влияния жесткости тела плотины, контакта экрана с телом плотины на температурные напряжения в экране, в том числе при разном характере температурного воздействия.

Материалы и методы

Исследования проводились методом конечных элементов на примере плотины высотой 100 м (рис. 1). Толщина экрана принималась постоянной по высоте и равной 1 м.

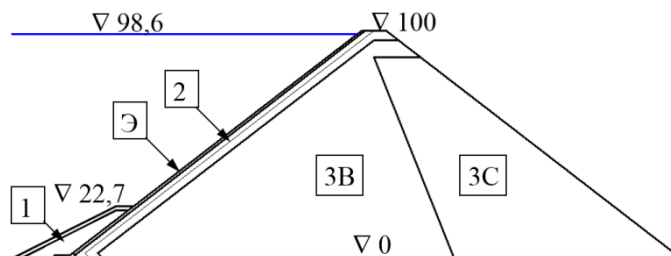


Рис. 1. Схема конструкции каменно-набросной плотины с железобетонным экраном: 1 — защитная призма; 2 — подэкрановая зона, включая бордюрные блоки; 3В, 3С — зоны упорной призмы; Э — железобетонный экран

Тело плотины принималось однородным по деформативным свойствам материала. Расчеты проводились для нескольких вариантов значений модуля линейной каменной наброски E : 60, 120, 240, 480 МПа. Коэффициент Пуассона каменной наброски принимался равным 0,2.

Модуль линейной деформации бетона экрана принимался равным 29 ГПа, а бетона бордюрных блоков — 5 ГПа, их коэффициент Пуассона — 0,2.

Расчеты проводились для двух вариантов конструкции плотины. В первом варианте экран укладывается непосредственно на грунт подэкрановой

зоны, а во втором — на бордюрные блоки (с устройством слоя битумной эмульсии).

Использовалась модель плотины, которая насчитывает 1043 конечных элемента. Контакты железобетонного экрана с грунтами, а также периметральный шов смоделированы с помощью контактных конечных элементов. В первом варианте касательная жесткость контакта принималась равной 20 МПа/м, а во втором — 2 МПа/м.

При составлении численной модели плотины использовались конечные элементы высокого порядка, с кубической степенью аппроксимации перемещений. Общее количество степеней свободы модели составило 9174.

Для расчетов НДС использовалась вычислительная программа NDS_N, составленная М. П. Саиновым.

Рассматривалось три случая характера (схемы) температурного воздействия. Предусматривалось охлаждение БЭ, т. к. оно несет опасность образования растягивающих напряжений. Во всех случаях максимальное изменение температуры Δt экрана принималось равным 20 °С. Коэффициент линейного температурного расширения бетона принимался равным $10^{-5}(\text{°C})^{-1}$. Соответственно, максимальное значение растягивающего внутреннего усилия, возникающего в экране (при $\Delta t = 20 \text{ °C}$), составляет 5,8 МПа, что много выше прочности бетона на растяжение.

Первый случай температурного воздействия (схема 1) соответствует равномерному (по высоте и толщине) охлаждению экрана на 20 °С. Второй случай предусматривает неравномерное распределение температур по толщине экрана: охлаждение напорной грани экрана на 10 °С и нагрев низовой грани на 10 °С.

Первый случай температурного воздействия является хотя и редким, но вполне реальным. Он может иметь место после первого наполнения водохранилища, когда теплый экран будет охлажден от контакта с холодной водой. Второй случай температурного воздействия является гипотетическим и не может иметь место в реальных КНБЭ, однако он возможен в сочетании с первым. Сочетанием случаев 1 и 2 является схема 3. Этот случай соответствует начальному периоду после изменения уровня водохранилища, когда будет охлаждена только напорная грань БЭ, а низовая — нет.

Рассмотрение вариантов температурного воздействия позволило оценить их опасность для трещиностойкости БЭ.

Результаты

Расчеты показывают, что НДС БЭ при неравномерном распределении температуры (схема 2) более неблагоприятно, чем при равномерном (схема 1). Температурное воздействие схемы 2 вызывает в БЭ деформации изгиба, которые компенсируются только на крайних участках экрана. Если вода водохранилища холоднее, чем бетон экрана, на верховой грани будут возникать растягивающие напряжения, а на низовой — сжимающие. Если вода теплее бетона, распределение напряжений будет обратным.

При этом температурное НДС практически не зависит от строения плотины и характеристик каменной наброски. Во всех рассмотренных вариантах при неравномерном температурном воздействии температурные напряжения в экране достигают 2,2 МПа. Растягивающие напряжения данной величины

могут являться критичными для трещиностойкости экрана, т. к. расчетное сопротивление бетона класса В30 на растяжение составляет 1,8 МПа. Образование температурных трещин возможно на тех участках экрана, на которых при действии статических сил напряжения близки к 0 или являются растягивающими. В частности, это самый верхний участок экрана (у гребня).

Однако температурное воздействие схемы 2 невозможно вне сочетания с равномерным охлаждением, поэтому надо рассмотреть НДС для схемы 1.

Равномерное охлаждение сопровождается деформациями продольного укорачивания (рис. 2, б) и слабого изгиба (рис. 2, а) экрана. При охлаждении на 20 °С экран длиной около 160 м укорачивается примерно на 2 см.

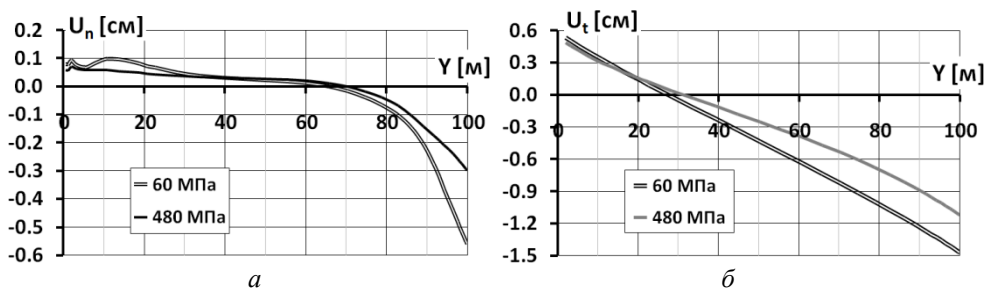


Рис. 2. Распределение по высоте перемещений экрана, возникающих от равномерного температурного воздействия (схема 1, вариант 1): а — перемещения в направлении перпендикулярно к откосу; б — перемещения в направлении вдоль откоса. Цифрами обозначены значения модуля линейной деформации каменной наброски

Наличие продольных деформаций позволяет значительно компенсировать растягивающие напряжения в экране от температурного воздействия.

На рисунке 3 показаны напряжения σ на низовой грани экрана, которые возникают от равномерного охлаждения и направлены вдоль откоса (схема 1). Своего максимума растягивающие напряжения достигают примерно в середине экрана, они существенно меньше, чем потенциально возможные внутренние усилия от изменения температуры (5,8 МПа).

В нижней части БЭ в результате деформаций изгиба имеется область локального повышения растягивающих напряжений.

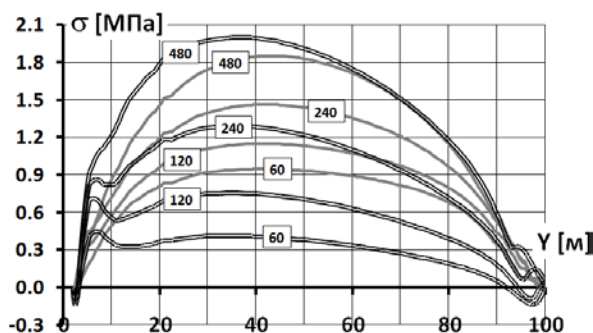


Рис. 3. Распределение по высоте напряжений на низовой грани экрана, возникающих от равномерного температурного воздействия. Двойные линии соответствуют варианту 1, одинарные — варианту 2. Цифрами обозначены значения модуля линейной деформации каменной наброски

Количественные характеристики НДС БЭ при равномерном изменении температуры существенно зависят от модуля деформации каменной наброски E . При увеличении E с 60 до 480 МПа разница продольных перемещений торцов экрана уменьшается в варианте 1 с 2,00 до 1,61 см (рис. 4, б).

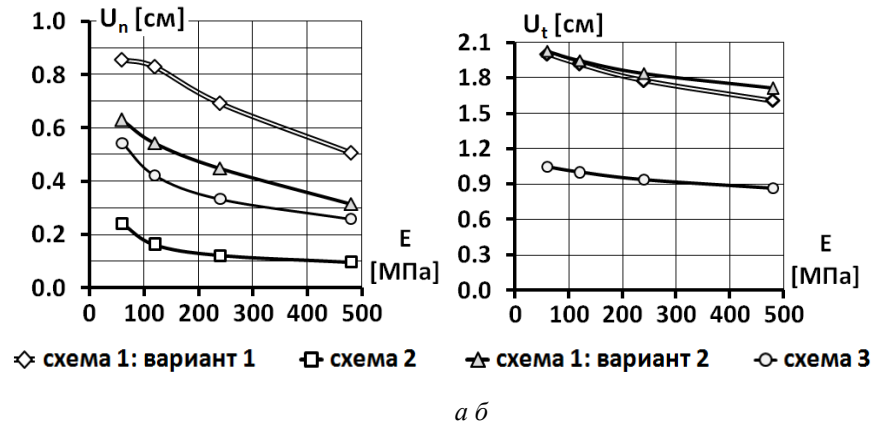


Рис. 4. Изменение максимальных перемещений экрана при температурном воздействии: а — разница прогибов; б — разница продольных перемещений

Соответственно, с ростом E существенно увеличивается величина максимальных значений растягивающих напряжений $\sigma_{\max}$ (рис. 5). Например, в варианте 1 при $E = 60$ МПа $\sigma_{\max} = 0,46$ МПа, а при $E = 480$ МПа — $\sigma_{\max} = 2,0$ МПа. В последнем случае $\sigma_{\max}$ превышает прочность бетона на растяжение. Можно ожидать, что в современных плотинах (с высоким качеством уплотнения каменной наброски) вероятно образование температурных трещин на верхних участках БЭ.

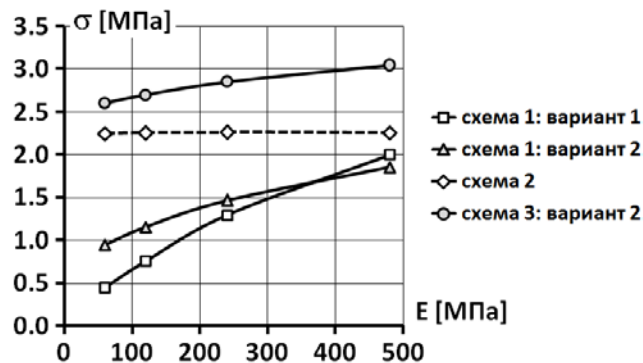


Рис. 5. Изменение максимальных значений температурных напряжений в экране при различных вариантах температурного воздействия

Получено, что величина $\sigma_{\max}$ зависит от конструкции плотины. При наличии под БЭ бетонных бордюрных блоков (вариант 2) несмотря на наличие антифрикционного слоя растягивающие напряжения $\sigma_{\max}$ в БЭ выше, чем в варианте 1 (см. рис. 4, 5). Лишь при $E > 370$ МПа $\sigma_{\max}$ несколько снижаются и составляют 1,85 МПа.

Прочность БЭ на растяжение будет обеспечена лишь при $E < 350$ МПа. Это показывает, что в современных плотинах с высоким качеством уплотнения каменной наброски опасность трещинообразования более вероятна, чем в старых плотинах. Антифрикционные мероприятия на контакте БЭ и бордюрных блоках являются необходимыми.

Однако в целом случай равномерного охлаждения (схема 1) менее опасный, чем случай неравномерного распределения температуры (схема 2). Можно сделать вывод о том, что наиболее опасным для трещиностойкости экрана является начальный период времени при наполнении водохранилища, когда температурное поле будет неравномерным по толщине экрана. При быстром наполнении водохранилища температурное воздействие будет близко к случаю 3, когда на верховой грани температура уменьшается на 20°C , а на низовой остается неизменно.

Случай 3 является наиболее опасным. На рисунке 5 видно, что при любых значениях E температурные напряжения превышают $2,5$ МПа. Они превышают расчетное сопротивление бетона на растяжение, поэтому существует риск образования трещин. Так как растягивающие напряжения действуют в направлении вдоль откоса, потеря прочности бетона будет сопровождаться образованием горизонтальных трещин.

Однако следует иметь в виду, что НДС БЭ от статических сил характеризуется наличием высоких сжимающих напряжений в направлении вдоль створа. Неравномерное температурное воздействие будет способствовать повышению сжимающих напряжений, потере прочности бетона на сжатие и образованию вертикальных трещин.

С течением времени распределение температур в БЭ будет выравниваться (стремиться к схеме 1), что приведет к частичной компенсации температурных напряжений за счет продольных деформаций и, соответственно, к снижению риска трещинообразования в БЭ. Поэтому для обеспечения трещиностойкости БЭ следует обеспечивать длительное наполнение водохранилища, чтобы избежать неравномерного температурного воздействия.

Выводы:

1. При снижении деформируемости каменной наброски возрастает восприимчивость БЭ к изменению температуры (с равномерным характером распределения). Поэтому для современных плотин с высоким качеством уплотнения каменной наброски характерен повышенный риск потери прочности бетона (на растяжение или сжатие) при изменении уровня водохранилища.

2. Наибольшую опасность для трещиностойкости бетонного экрана представляет температурное воздействие с неравномерным характером распределения температуры по толщине экрана. С целью снижения риска образования трещин следует осуществлять наполнение водохранилища в течение длительного времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современное научное обоснование строительства каменнонабросных плотин с железобетонными экранами / В. Г. Радченко, В. Б. Глаговский, Н. А. Кассирова, Е. В. Курнева // Гидротехническое строительство. 2004. № 3. С. 2—8.
2. Ma H., Chi F. Technical progress on researches for the safety of high concrete-faced rockfill dams // Engineering. 2016. № 2. Pp. 332—339.
3. Marques Filho P., De Pinto N. L. S. CFRD dam characteristics learned from experience // The International Journal on Hydropower & Dams. 2005. No. 12(1). Pp. 72—76.

4. Freitas M. S. Jr. Concepts on CFRDs Leakage Control — Cases and Current Experiences // ISSMGE Bulletin. 2009. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 11—18.
5. Johannesson P., Tohlang S. L. Lessons learned from Mohale // The International Water Power & Dam Construction. 2007. Vol. 59. Iss. 8. Pp. 16—18, 20—22, 24—25.
6. Hu K., Chen J., Wang D. Shear Stress Analysis and Crack Prevention Measures for a Concrete-Face Rockfill Dam, Advanced Construction of a First-Stage Face Slab, and a First-Stage Face Slab in Advanced Reservoir Water Storage // Advances in Civil Engineering. 2018. DOI: 10.1155/2018/2951962.
7. Саинов М. П., Затонских М. А. Повреждение железобетонных экранов каменно-набросных плотин: факты, возможные причины и способы предотвращения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 10(73). С. 16—27.
8. Finite element analysis of stress intensity factors for surface temperature cracks in a concrete slab on soil / M. Zhang, W. Qi, Y. Liu, X. B. Xue // Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research. 2014. Vol. 32. Iss. 6. Pp. 4823—4830.
9. Саинов М. П. Влияние изменения температуры на напряженно-деформированное состояние железобетонного экрана каменно-набросной плотины // Приволжский научный журнал. 2016. № 4(40). С. 79—85.
10. Саинов М. П., Котов Ф. В., Волков Д. В. Напряженно-деформированное состояние массивного негрунтового двухслойного экрана каменно-набросной плотины при температурном воздействии // Приволжский научный журнал. 2018. № 2(46). С. 84—90.
11. Settlement Behavior Characteristics of CFRD in Construction Period. Case of Daegok Dam / H.-G. Park, Y.-S. Kim, M.-W. Seo, H.-D. Lim // Journal of the Korean geotechnical society. 2005. Vol. 21. No. 7. Pp. 91—105.
12. A statistical review of the behaviour of concrete-face rockfill dams based on case histories / L. Wen, J. Chai, Z. Xu, Y. Qin // Géotechnique. 2018. Vol. 68. No. 9. Pp. 749—771.
13. Сорока В. Б., Саинов М. П., Королев Д. В. Каменно-набросные плотины с железобетонным экраном: опыт исследований напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 207—224.
14. Cause analysis of cracking of concrete slab for high CFRD based on concrete crushing-type side wall technology / W. Zhou, J.-J. Hua, X.-L. Chang, Y.-H. Cao // Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics. 2008. No. 29. Pp. 2037—2042.

© Саинов М. П., Котов Ф. В., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Саинов М. П., Котов Ф. В. Влияние жесткости каменно-набросной плотины на термонапряженное состояние ее бетонного экрана // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 34—41.

Об авторах:

Саинов Михаил Петрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

Котов Филипп Викторович — старший преподаватель кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

Mikhail P. Sainov, Filipp V. Kotov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

IMPACT OF ROCKFILL DAM RIGIDITY ON THERMO-STRESSED STATE OF ITS CONCRETE FACE

Study was carried out of the impact on the value of stresses appearing in a rockfill dam concrete face from thermal effect; the impact of such factors as rockfill deformation and shear characteristics of the contact between the face and the dam body. It is shown that the degree of effect of these factors

depends on the character of thermal effect: at uniform distribution of temperature their effect is considerable and it is absent at non-uniform distribution. From the point of view of crack formation in the face, the most unfavorable is the initial time interval after variation of the reservoir level, when change of the temperature covers only the upstream part of the face. In modern dams with high quality of rockfill compaction the concrete face is more subject to uniform variation of temperature.

Key words: concrete faced rockfill dam, temperature effect, temperature stresses, crack resistance, strength.

For citation:

Sainov M. P., Kotov F. V. [Impact of rockfill dam rigidity on thermo-stressed state of its concrete face]. *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], 2020, iss. 3, pp. 34—41.

About authors:

Mikhail P. Sainov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Hydraulic Engineering Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

Filipp V. Kotov — Senior Lecturer of Hydraulic and Hydraulic Engineering Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

УДК 624.131.1

Е. В. Щекочихина^а, С. А. Калиновский^а, А. Ф. Алексеев^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Уральский государственный горный университет*

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЗАСОЛЕННЫХ И НЕЗАСОЛЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

На примере собственных исследований проблемы диффузионного выщелачивания незасоленных сарматских глин и по данным других авторов, изучающих указанную проблему на образцах засоленных глинистых пород, сделан вывод о том, что незасоленные глины сармата, не имеющие в своем составе тонкодисперсный пирит, и засоленные четвертичные глинистые породы различного генезиса являются менее устойчивыми к обводнению, чем засоленные морские глины.

Ключевые слова: незасоленные глины, засоленные глины, свойства глинистых пород при выщелачивании, степень и характер засоления, глины, содержащие пирит, глины, не содержащие пирит.

Исследованием засоленных глинистых пород различного возраста и происхождения в условиях длительного взаимодействия с водой по методике ПНИИ-ИСа в разные годы занимались: Н. П. Затенацкая, Н. С. Реутова, Н. А. Окнина [1, 2], С. И. Пахомов, А. М. Монюшко [3—5] и др. Изменение вещественного состава и физико-механических свойств при диффузионном выщелачивании изучены для сарматских глин Центрального Предкавказья, майкопских глин Северного Прикаспия, толщи глин верхнего и нижнего неогена Центрального Предкавказья, сыртовых глин Заволжья, четвертичных глин Центрального Предкавказья.

Изменение состава и свойств засоленных глинистых пород при выщелачивании

Накопление в глинах водорастворимых солей приводит к их засолению. Глины, содержащие более 0,3 % легко- и среднерастворимых солей, относятся к засоленным. По характеру своего засоления глинистые породы могут иметь первичный (морской) характер засоления — глины отлагались в засоленных морских бассейнах (майкопские, сарматские, хвалынские) или континентальный (вторичный) — за счет выветривания и континентального соленакопления (четвертичные глины, сыртовые глины). Соли в глинах накапливаются как в твердом виде (карбонаты, гипс, ярозит, окислы железа, аморфный кремнезем), так и в поровых водах. В последних, у засоленных глин, концентрируются легкорастворимые соли хлоридов и сульфатов натрия, магния и сода. Характерная особенность засоленных глинистых пород — их бурая и красно-бурая окраска за счет накопления в породе окислов железа (Fe_2O_3).

По степени растворимости в воде простые соли, наиболее часто встречающиеся в породах, подразделяются на легко-, средне- и труднорастворимые. К легкорастворимым солям относятся: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , MgSO_4 , к слабо-растворимым — гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и ангидрит (CaSO_4); к труднорастворимым: карбонаты кальция (CaCO_3) и магния (MgCO_3). По составу легкорастворимые соли разделяются на три группы: хлоридные, сульфатные и углекислые (содовые).

Хлоридные соли (CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl) характеризуются ярко выраженной гигроскопичностью, повышающей общую влажность породы. При кристаллизации из растворов хлоридные соли не увеличивают своего объема. Солончаковые глины, содержащие натриевые соли (NaCl , Na_2SO_4), при рассолении переходят в солонцы, в поглощенном комплексе которых содержится адсорбированный натрий. При рассолении кальциевых и магниевых солончаков солонцы не образуются, и в поглощающем комплексе преобладает адсорбированный кальций.

Углекислые соли (сода — NaHCO_3 и Na_2CO_3) в засоленных породах встречаются реже. Водные растворы соды имеют сильнощелочную реакцию. Процесс растворения солей зависит от свойств воды: ее минерализации, состава, концентрации водорода (рН). Так, растворимость гипса повышается в зависимости от содержания в воде солей хлористого натрия и магния и увеличивается от 2 г/л — для дистиллированной воды до 6,5 г/л и 10,0 г/л — для растворов хлоридов натрия и магния высокой концентрации. Растворимость карбоната кальция CaCO_3 в воде, лишенной CO_2 , составляет 14 мг/л, а при содержании CO_2 в воздухе до 10 % растворимость повышается до 470 мг/л.

Н. П. Затенацкой [1, 2] изучались *поровые воды* майкопских и четвертичных глин элювиально-делювиального, алювиально-делювиального и делювиального генезиса Центрального Предкавказья. Длительное (до 280 сут.) выщелачивание майкопских глин привело к резкому снижению минерализации поровых вод с 49 до 0,4 г/л; к снижению содержания сульфат иона с 381 мг-экв до 0,6 мг-экв; хлор-иона с 417 мг-экв до 1 мг-экв. Состав поровых вод при этом изменился от сульфатно-хлоридного до гидрокарбонатно-кальциевого.

Емкость поглощения и состав обменных катионов

Катионы порового раствора находятся в подвижном физико-химическом равновесии с обменными катионами, адсорбированными коллоидными частицами породы. Емкость поглощения майкопских глин составляет 24,7 мг-экв/100 г породы. В состав обменного комплекса входят: магний — 48 %; Na^+ — 32 %; кальций — 17 %. Такое расположение ионов свидетельствует о морском происхождении глины [1]. У четвертичных элювиально-делювиальных и алювиально-делювиальных глин емкость поглощения изменяется от 21 до 33 мг-экв/100 г породы. Наибольшая емкость поглощения наблюдается у слабо агрегированных разностей элювиальных четвертичных глин, обменные катионы которых расположены в ряд: $\text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$.

При выщелачивании засоленных глин, содержащих в твердой фазе гипс, карбонаты кальция и магния, происходит перестройка в составе обменных катионов. В выщелоченных глинах (по сравнению с засоленными) резко увеличивается содержание обменного натрия — происходят обменные реакции между катионами поровых вод и обменными катионами — из поровых вод поглощается Ca^{+2} , а в поровые воды переходит обменный Na^+ . Содержание обменного натрия у большинства образцов увеличивается, и только у сильно выщелоченных разностей его содержание понижается. Обменные катионы выстраиваются в ряд: $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ — в сильно выщелоченных глинах, а на промежуточных стадиях выстраиваются в ряд: $\text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ и $\text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$.

Емкость поглощения при выщелачивании сильноагрегированных делювиальных глин понижается с 24...25 мг-экв/100 г пор. до 19...21 мг-экв/100 г пор., при выщелачивании слабоагрегированных элювиальных засоленных четвертичных глин емкость поглощения увеличивается на 2...3 мг-экв/100 г породы.

Степень засоления

Результаты многочисленных анализов водных вытяжек засоленных глин по трассе Большого Ставропольского канала были проанализированы Н. П. Затенацкой [1]. Четвертичные глины имеют засоленность 1,2...2,8 %, характер засоления в основном сульфатно-натриевый. При взаимодействии с водой глины выщелачиваются, что приводит к снижению их минерализации до 0,4...1,2 %. Степень выщелоченности составляет 0,25...0,60. При выщелачивании майкопских, сыртовых и хвалыньских глин, степень засоления которых меньше и составляет 0,4...1,1 %, степень выщелоченности несколько больше и составляет 0,36...0,75, а содержание водорастворимых солей уменьшается до 0,3...0,6 % (табл. 1).

При выщелачивании устанавливаются новые подвижные равновесия ионов и Na^+ . Поровые воды приобретают гидрокарбонатно-кальциево-магниевый и гидрокарбонатно-натриевый (содовый) состав, а в обменном комплексе глин накапливается поглощенный кальций, поступающий из поровых вод.

Дисперсность

В опытах по длительному выщелачиванию засоленных глин происходит разрушение крупных агрегатов песчаной фракции при одновременной коагуляции глинистых фракций в тонкопылеватую. Агрегация глинистой фракции майкопских глин при выщелачивании, по мнению Н. П. Затенацкой [1], — следствие более глубокого проявления процессов выветривания глины — рассоления ее вплоть до рассолонцевания. В процессе выщелачивания майкопских и элювиальных слабоагрегированных четвертичных глин происходит незначительное увеличение содержания глинистой фракции, а также незначительное увеличение пылевой фракции за счет снижения содержания фракции песка. Коэффициент агрегированности таких глин несколько меньше (табл. 1). У сильноагрегированных загипсованных делювиальных глин с величиной коэффициента агрегированности 14...16 при длительном диффузионном выщелачивании происходит пептизация глин в основном за счет разрушения песчаной и крупнопылевой фракций с увеличением содержания фракции мелкой пыли. При этом содержание глинистой фракции менее 0,005 мм изменяется незначительно в сторону возрастания (на 2...3 %). Коэффициент агрегированности либо не изменяется, либо незначительно возрастает или уменьшается.

Выполненные исследования позволили Н. П. Затенацкой сделать вывод о том, что большое содержание гипса в породе способствует более сильной агрегации глинистой реакции. И лишь полное удаление гипса из породы при выщелачивании и ее сильное рассоление приводят к пептизации глинистой фракции.

Физические свойства

При выщелачивании засоленных глин их *влажность* возрастает, а плотность снижается. При этом большое значение увлажнение имеет для слабоагрегированных пород, чем для сильноагрегированных.

Т а б л и ц а 1

*Количественные изменения состава и свойств засоленных и незасоленных
 глинистых пород при диффузионном выщелачивании*

Показатели состава и свойств	Незасоленные сарматские глины		Неогеновые морские засоленные глины [1, 5]	Четвертичные полигенетические засоленные глини- стые породы [5]
	не содер- жащие пирит	содержащие пирит		
Содержание дис- персной (менее 0,005 мм фрак- ции), % (микроаг- регатный анализ)	$\frac{30,8}{46,4}$ (20)	$\frac{36,1}{35,2}$ (10)	$\frac{70,0}{72,5}$	$\frac{24,1}{24,5}$ (7)
Коэффициент аг- регированности дисперсной (менее 0,005 мм) фракции	$\frac{1,97}{1,32}$ (20)	$\frac{1,93}{1,95}$ (10)	$\frac{1,10}{1,05}$	$\frac{7,40}{5,00}$ (7)
Содержание водо- растворимых со- лей, %	$\frac{0,17}{0,13}$ (20)	$\frac{0,19}{0,11}$ (10)	$\frac{0,68}{0,21}$ (12)	$\frac{1,56}{0,60}$ (9)
Степень выщело- ченности на конец опыта (средняя)	0,43(20)	0,38(10)	0,41(11)	0,46(9)
Содержание гипса, %	$\frac{0,15}{0,10}$ (20)	$\frac{0,13}{0,41}$ (10)	$\frac{0,12}{0,22}$ (10)	$\frac{5,22}{3,08}$ (6)
Содержание кар- бонатов, %	$\frac{9,54}{8,47}$ (20)	$\frac{14,11}{15,60}$ (10)		$\frac{4,00}{2,68}$ (4)
Влажность	$\frac{0,23}{0,44}$ (20)	$\frac{0,31}{0,52}$ (10)	$\frac{0,31}{0,29}$ (12)	$\frac{0,20}{0,30}$ (8)
Плотность «сухо- го» грунта, г/см ³	$\frac{1,67}{1,26}$ (20)	$\frac{1,50}{1,11}$ (10)	$\frac{1,51}{1,30}$ (11)	$\frac{1,61}{1,48}$ (8)
Угол внутреннего трения, град.	$\frac{16,6}{15,0}$ (20)	$\frac{13,0}{12,7}$ (10)	$\frac{19}{12}$ (13)	$\frac{22}{14}$ (8)
Удельное сцепле- ние, МПа	$\frac{1,32}{0,39}$ (20)	$\frac{1,08}{0,47}$ (10)	$\frac{0,10}{0,06}$ (11)	$\frac{0,14}{0,03}$ (8)

Примечание: в числителе — значение до выщелачивания, в знаменателе — после выще-
 лачивания, в скобках — количество определений.

При выщелачивании сильноагрегированных делювиальных засоленных
 глин в первую очередь нарушаются межагрегатные связи. Происходит раз-
 рушение крупных агрегатов тонкого песка и крупной пыли, за счет чего воз-
 растает содержание фракции тонкой пыли. При этом увеличение количества
 глинистой фракции незначительное, что свидетельствует о прочной внутри-
 агрегатной связи тонких фракций. Увеличение влажности таких пород при
 выщелачивании происходит в основном за счет капиллярного осмоса. При
 выщелачивании слабоагрегированных засоленных глин происходит более
 сильная пептизация фракций: разрушаются межагрегатные и внутриагрегат-

ные связи. Порода более сильно обводняется за счет утолщения диффузных слоев глинистых частиц в слабоминерализованной поровой воде, чему способствует также большое содержание натрия в обменном комплексе.

Пластичность и показатель текучести

В четвертичных глинах предел текучести составляет 0,45...0,53; предел раскатывания — 0,19...0,26; число пластичности — 0,20...0,22. По показателю текучести все глины твердые и полутвердые. В выщелоченных разностях четвертичных и майкопских глин увеличивается значение предела текучести на 0,01...0,09; у сыртовых глин значение предела текучести практически не изменяется; у майкопских — увеличение достигает 0,09. При этом чем более выщелочена порода, тем значение предела текучести выше. Предел раскатывания при выщелачивании в одних случаях увеличивается, а в других не изменяется. Соответственно этому, а также увеличению предела текучести изменяется и число пластичности: для монтмориллонитовых глин — повышается на 0,01...0,09, для иллит-хлоритовых глин не изменяется (см. табл. 1). По показателю текучести выщелоченные глины полутвердые, туго и реже — мягкопластичные.

Пластическая прочность

Удельное сопротивление пенетрации четвертичных глин Центрального Предкавказья различного генезиса составляет 0,78...3,10 МПа; майкопских глин — 1,00 МПа; сыртовых и хвалынских — 0,40...0,80 МПа. После диффузионного выщелачивания пластическая прочность уменьшается и составляет соответственно: 0,08...0,30 МПа; 0,20 МПа; 0,02...0,40 МПа. По данным С. И. Пахомова и А. М. Монюшко, удельное сопротивление пенетрации для четвертичных глин составило: 0,86...0,78 МПа; для сарматских глин — 0,33...1,08 МПа; для глин нижнего неогена — 0,25...1,96 МПа. После выщелачивания эти показатели изменились соответственно: 0,13...0,31 МПа; 0,14...0,25 МПа; 0,08...0,71 МПа.

Прочность на срез

В опытах по диффузионному выщелачиванию засоленных глин вследствие сильного увлажнения, разуплотнения и разупрочнения снижаются прочностные характеристики глин. По данным Н. П. Затенацкой, это снижение составляет: по *удельному сцеплению* — в 6—15 раз для монтмориллонитовых глин) и в 2,0—3,5 раза для иллит-хлоритовых глин, по *углу внутреннего трения* — до 3 раз (для монтмориллонитовых глин) и в 1,5 раза (для иллит-хлоритовых глин) по сравнению с засоленными.

Похожие данные приводят С. И. Пахомов и А. М. Монюшко [5]: для четвертичных глин удельное сцепление при выщелачивании уменьшается в 1,5—3,5 раза; для сарматских глин — в 2,0—3,0 раза, для пород нижнего неогена — до 2,0 раз. Угол внутреннего трения уменьшается соответственно: в 1,3—3,5 раза; 1,5—4,0 раза; 1,5—5,0 раза. Будучи достаточно прочными в засоленном состоянии, при выщелачивании засоленные глины дополнительно гидратируются и разуплотняются, переходя в группу слабых пород, что становится причиной проявления таких нежелательных инженерно-геологических явлений, как оползни, оплывы, неравномерные осадки и др.

Комплексное изучение инженерно-геологических свойств засоленных глин показало, что при диффузионном выщелачивании в них происходит потеря неводостойких структурных связей, снижается минерализация поровых

вод, повышается гидратированность и водоудерживающая способность, глины разупрочняются, и, как следствие, происходит изменение физического состояния, сопротивление сдвигу выщелоченных глин резко снижается [1].

При выщелачивании набухающих разностей засоленных глин понижение минерализации поровых вод приводит к увеличению толщины диффузных оболочек глинистых частиц, что способствует расклинивающему их действию: в глинах развивается значительное давление набухания.

При выщелачивании засоленных глин происходит вынос солей из породы, о чем свидетельствует понижение минерализации поровых вод и содержание цементирующих солей — гипса и карбонатов: неводостойкие коагуляционно-кристаллизационные связи разрушаются, происходит пептизация глин в основном за счет разрушения крупных фракций пыли и песка. Физико-механические свойства засоленных глин в процессе их диффузионного выщелачивания резко изменяются — глины дополнительно гидратируются, разуплотняются и разупрочняются, при этом следует отметить, что выщелачивание засоленных глин в диффузионной установке как в условиях свободного набухания, так и под нагрузкой приводит к потере прочности независимо от напряженного состояния образца, тогда как плотность и водоудерживающая способность выщелоченных разностей контролируется соотношением нагрузки на образец и давлением набухания, развиваемым глинами. Большой эффект дополнительного увлажнения, разуплотнения и разупрочнения при выщелачивании характерен для монтмориллонитовых майкопских и залегающих на них четвертичных глин, чем для иллит-хлоритовых сыртовых и хвалыньских засоленных глин.

Снижение прочностных характеристик — удельного сцепления и угла внутреннего трения — при выщелачивании засоленных глин максимально в опытах по диффузионному выщелачиванию со свободным набуханием. Так, удельное сцепление майкопских и четвертичных глин снижается на 83...93 %; угол внутреннего трения — на 63...70 %; у сыртовых и хвалыньских глин сцепление снижается на 60...71 %, угол внутреннего трения — лишь на 17...28 % [1]. Различная способность взаимодействовать с водой изученных засоленных глин связана с различной кристаллохимической структурой глинистых минералов — энергетические свойства, выраженные в способности тесно взаимодействовать с водой, значительно выше у высокогидрофильных монтмориллонитовых, чем у слабогидрофильных иллит-хлоритовых глин.

Изменение состава и свойств незасоленных глинистых пород при выщелачивании

Проблеме выщелачивания незасоленных глинистых грунтов посвящены работы Ю. И. Олянского, Е. В. Щекочиной, С. А. Калиновского, А. Ф. Алексеева и др. [3, 6, 7—11]. Изучались незасоленные сарматские глины, залегающие в Северном Причерноморье. Образование их происходило вследствие накопления терригенного материала в изолированном морском бассейне, вода которого разбавлялась поверхностным стоком с Русской платформы.

Анализ особенностей изменения состава и свойств незасоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании выполнен по следующим показателям: содержание дисперсной фракции, коэффициент агрегированности

дисперсной фракции, содержание водорастворимых солей, содержание гипса, степень выщелоченности, содержание карбонатов, влажность, плотность «сухого» грунта, угол внутреннего трения, удельное сцепление. Количественные изменения состава и свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании приведены в табл. 1.

Содержание дисперсной (менее 0,005 мм) фракции и коэффициент ее агрегированности

Морские незасоленные глины сармата с пластифицированно-коагуляционным типом структурных связей (коэффициент агрегированности в среднем около 2,0), не содержащие пирит, при выщелачивании диспергируются за счет выноса цементирующих солей и в первую очередь гипса. При этом существенно повышается содержание дисперсной фракции (примерно на 30 %) и настолько же уменьшается коэффициент ее агрегированности. Похожие процессы происходят и при выщелачивании загипсованных четвертичных глинистых пород (см. табл. 1).

Морские незасоленные глины сармата с пластифицированно-коагуляционным типом структурных связей, содержащие пирит, при выщелачивании практически не изменяют содержания дисперсной фракции. Оно может незначительно повышаться или понижаться. Точно так же ведут себя все засоленные глинистые породы. Соответственно, и коэффициент агрегированности может колебаться незначительно в обе стороны. Характерно, что это никак не связано с содержанием в породе гипса: его количество может или повышаться при выщелачивании или понижаться.

Содержание водорастворимых солей

При выщелачивании всех без исключения глинистых пород засоленность их уменьшается. Минимальное по абсолютной величине снижение содержания солей имеет место для незасоленных сарматских глин, не содержащих пирит — в среднем на 20 % от исходного на конец испытаний, что соответствует степени выщелоченности в среднем 0,43. Максимальное снижение содержания солей в 2,5—3,0 раза имеет место для засоленных глинистых пород, однако степень выщелоченности их на конец опыта не превышает в среднем 0,46.

Содержание гипса

Количество гипса в морских глинистых породах обусловлено: первичного — наличием его в морской воде при седиментации, вторичного — окислением пирита при выветривании (выщелачивании) глин в пост генетическую стадию. До выщелачивания неогеновых морских глин содержание гипса во всех трех группах пород было примерно одинаковое — 0,12...0,15 %. В выщелоченных образцах содержание гипса примерно на одну треть уменьшилось только у сарматских незасоленных глин, не содержащих пирит. У других двух групп его содержание увеличилось в 2—3 раза за счет образования и накопления в породе вторичного гипса. При выщелачивании засоленных четвертичных глинистых пород, содержащих в основном вторичный гипс, образовавшийся при континентальном засолении, его содержание уменьшилось в среднем на 45 %. В таблице 2 представлены основные особенности изменения состава и свойств глинистых пород различного возраста, генезиса и степени засоления при диффузионном выщелачивании.

Основные особенности изменения состава и свойств глинистых пород различного возраста, генезиса и степени засоления при диффузионном выщелачивании

Показатели состава и свойств	Незасоленные сарматские глины		Неогеновые морские засоленные глины	Четвертичные полигенетические засоленные глины
	не содержащие пирит	содержащие пирит		
Содержание дисперсной (менее 0,005 мм) фракции, % (микроагрегатный анализ)	Увеличивается в среднем в 1,5 раза	Незначительно изменяется в обе стороны	Незначительно увеличивается	Незначительно увеличивается
Коэффициент агрегированности дисперсной (менее 0,005 мм) фракции	Значительно уменьшается, достигая значения $K = 1,3 \dots 1,4$	Незначительно изменяется в обе стороны, оставаясь на уровне $K = 2$	Незначительно уменьшается, достигая минимума $K = 1,05$	Значительно уменьшается, достигая значения $K = 4,0 \dots 6,0$
Содержание водорастворимых солей, %	Уменьшается в среднем на 20 %	Уменьшается в среднем на 40 %	Уменьшается в среднем в 3 раза	Уменьшается в среднем в 2,5 раза
Степень выщелоченности на конец опыта (средняя)	Более 0,40	Менее 0,40	Более 0,40	Более 0,40
Содержание гипса, %	Уменьшается в среднем в 1,5 раза	Увеличивается в несколько раз	Увеличивается в среднем в 2,0 раза	Уменьшается в среднем в 1,5 раза
Содержание карбонатов, %	Уменьшается на 10...20 %	Увеличивается на 10...30 %	Увеличивается на 20...30 %	Уменьшается в 1,5—2,0 раза
Влажность	Увеличивается в 1,5—2,0 раза	Увеличивается в 1,2—1,5 раза	Незначительно изменяется в обе стороны	Увеличивается в среднем в 1,5 раза
Плотность «сухого» грунта, г/см ³	Уменьшается на 10...20 % до значений $\rho_d = 1,20 \dots 1,30$	Уменьшается на 20...30 % до значений $\rho_d = 1,05 \dots 1,25$	Уменьшается в среднем на 25 % до значений $\rho_d = 1,20 \dots 1,40$	Уменьшается в среднем на 10 % до значений $\rho_d = 1,40 \dots 1,50$
Угол внутреннего трения, град	Уменьшается на 1...2°	Уменьшается незначительно	Уменьшается в среднем в 1,5 раза	Уменьшается в 1,5—2,0 раза
Удельное сцепление, МПа	Уменьшается в 4—5 раз	Уменьшается в 2—3 раза	Уменьшается в 1,5—2 раза	Уменьшается в 4—5 раз

Содержание карбонатов

Изменение содержания карбонатов при выщелачивании глинистых пород подчиняется зависимости, выявленной для гипса: у образцов, не содержащих в исходном состоянии пирит, их количество уменьшается. Для незасоленных сарматских глин на — 10...20 %, для четвертичных глинистых пород — в 1,5—2,0 раза. У образцов, имеющих включения пирита, количество карбонатов при выщелачивании увеличивается на 10...30 %.

Влажность

Максимальное увеличение влажности в 1,5—2,0 раза имеет место для сарматских незасоленных глин и засоленных четвертичных глинистых пород. Для неогеновых засоленных глин этот показатель при выщелачивании изменяется незначительно в обе стороны.

Плотность «сухого» грунта при выщелачивании всех глин уменьшается на 10...30 %, что является следствием их разуплотнения и набухания. В наибольшей степени разуплотняются незасоленные сарматские глины, содержащие пирит (до $p_d = 1,40...1,50$ г/см³).

Прочность

В целом прочность всех глинистых пород при выщелачивании уменьшается: по углу внутреннего трения — от незначительного до 2 раз; по удельному сцеплению — в 1,5—5,0 раз. Для оценки степени влияния обводнения на прочностные характеристики глинистых пород А. М. Монюшко было предложено использовать понятие «коэффициент устойчивости» к обводнению как отношение значения показателя прочности выщелоченного образца к показателю прочности образца природной влажности [5].

Данный факт вполне объясним, т. к. прочность глинистых пород при прочих равных условиях (влажности и плотности) в значительной степени зависит от характера структурных связей между грунтовыми частицами и степени агрегированности грунта. У образцов глин, не содержащих пирит, при выщелачивании происходит диспергация грунта и уменьшение его коэффициента агрегированности. А у образцов глин, содержащих в своем составе пирит, при выщелачивании образуются новые химические соединения: гипс, аморфный кремнезем, окислы железа и др., способствующие агрегатизации грунтовых частиц. Коэффициенты устойчивости к обводнению глинистых пород различной степени засоления представлены в табл. 3.

Таблица 3

*Коэффициенты устойчивости к обводнению глинистых пород
различной степени засоления*

Глинистые породы и степень их засоления	Автор	Коэффициенты устойчивости		
		K_c	K_ϕ	K_{p_m}
Незасоленные сарматские глины, не содержащие пирит	Ю. И. Олянский	0,32 (15)	0,61 (9)	0,05 (5)
Незасоленные сарматские глины, содержащие пирит	Ю. И. Олянский	0,51 (9)	0,74 (8)	0,09 (7)
Засоленные сарматские глины Центрального Предкавказья	С. И. Пахомов, А. М. Монюшко	0,38 (3)	0,29 (4)	0,40 (4)

Четвертичные засоленные глины Центрального Предкавказья	Н. П. Затенацкая	0,12 (3)	0,46 (3)	0,04 (4)
Сыртовые засоленные глины За-волжья	Н. П. Затенацкая	0,30 (1)	0,71 (1)	0,03 (1)
Засоленные хвалынские глины Северного Прикаспия	Н. П. Затенацкая	0,45 (2)	0,75 (2)	0,53 (2)
Засоленные неогеновые глины Центрального Предкавказья	С. И. Пахомов А. М. Монюшко	0,69 (4)	0,52 (6)	0,34 (5)
Засоленные неогеновые майкоп-ские глины	Н. П. Затенацкая	0,07 (1)	0,71 (1)	0,10 (1)
Незасоленные сармат-меотические глины между-речья Прут — Днестр I—III типов по устойчивости к обводнению	I II III Ю. И. Олянский	0,22 (21) 0,31 (39) 0,44 (31) 0,33 (91)*	0,55 (21) 0,67 (39) 0,88 (31) 0,71 (91)*	0,05 (15) 0,06 (21) 0,08 (22) 0,06 (58)*

Примечание: первое значение — среднее, в скобках — количество определений; значение со звездочкой — средневзвешенные значения для сармат-меотической толщи в целом.

Выводы

Основные различия в изменении состава и свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании заключаются в следующем:

1. Незасоленные сарматские глины, не имеющие в своем составе пирит, по характеру химических преобразований и количественному изменению показателей состава и свойств при диффузионном выщелачивании близки к засоленным четвертичным глинистым породам различного генезиса.
2. Незасоленные сарматские глины, содержащие пирит, по аналогичным показателям близки к засоленным морским глинам различного возраста, с одинаковой степенью дисперсности и агрегированности глинистой фракции.
3. В целом не имеющие пирит глины являются менее устойчивыми (более чувствительными) к обводнению за счет большего их увлажнения, более существенного изменения степени дисперсности и значительного уменьшения агрегированности глинистой фракции.
4. Изменение показателей прочности для сарматских глин, не имеющих в своем составе пирит, составляет: до двух раз — по углу внутреннего трения и до 4,5 раз — по удельному сцеплению. Для имеющих пирит эти показатели равны: до 1,5 раза и до 2—3 раз соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Затенацкая Н. П. Закономерности формирования свойств засоленных глин. М. : Наука, 1968. 133 с.
2. Затенацкая Н. П., Реутов Н. С., Окнина Н. А. Комплексная оценка засоленных глинистых пород как основа прогноза изменений их инженерно-геологических свойств при выщелачивании // Теоретические основы прогноза изменений инженерно-геологических свойств глинистых грунтов. Научные труды ПНИИИС. М. : Стройиздат, 1978. Вып. 53. С 3—41.
3. Монюшко А. М., Олянский Ю. И. Инженерно-геологические особенности сармат-меотических глин Молдовы. Кишинев : Штиинца, 1991. 172 с.
4. Монюшко А. М. Инженерно-геологическая оценка сарматских глин. М. : Наука, 1974. 235 с.
5. Пахомов С. И., Монюшко А. М. Инженерно-геологические аспекты техногенного изменения свойств глин. М. : Наука, 1988. 119 с.

6. Закономерности изменения вещественного состава и физико-механических свойств глинистых пород при длительном воздействии воды / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Чарыкова и др. // Международная научно-практическая конференция, посвященная 55-летию кафедры строительного производства и геотехники ПНИПУ и 60-летию кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ : материалы конф., 10—13 фев. 2015 г., Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. С. 66—79.

7. Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В. Прогноз прочности сарматских глин при длительном обводнении // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2018. № 2. С. 19—24.

8. Олянский Ю. И., Богомолов А. Н., Тихонова Т. М. Сарматские глины. Состав, физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению : монография // Саарбрюккен, 2013. 239 с.

9. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Прогноз показателей прочности сарматских глин оснований гидротехнических сооружений при длительном обводнении // Гидротехническое строительство. 2018. № 12. С. 25—30.

10. Оценка устойчивости сарматских глин к длительному обводнению на основе результатов лабораторных исследований / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский, Т. М. Тихонова // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 32—42.

11. Закономерности изменения состава и свойств глинистых пород при длительном взаимодействии с водой в основаниях инженерных сооружений / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Чарыкова, В. А. Онкаев // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 50(69). С. 7—15.

© Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Алексеев А. Ф., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Алексеев А. Ф. Основные закономерности выщелачивания и изменения состава и свойств засоленных и незасоленных глинистых пород // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 42—53.

Об авторах:

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

Калиновский Сергей Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sk0522@yandex.com

Алексеев Алексей Федорович — канд. геол.-минерал. наук, доцент, доцент кафедры инженерной геологии и геоэкологии, Уральский государственный горный университет (УГГУ). Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30; office@ursmu.ru

Evgeniya V. Shchekochikhina^a, Sergei A. Kalinovskii^a, Aleksey F. Alekseev^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Ural State Mining University (UrSMU)*

THE MAIN REGULARITIES OF LEACHING AND CHANGES IN THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF SALINE AND UNSALTED CLAY ROCKS

On the example of our own research on the problem of diffusion leaching of unsalted Sarmatian clays and according to other authors who study this problem on samples of saline clay rocks, it is concluded that unsalted Sarmatian clays that do not have fine pyrite in their composition and saline Quaternary clay rocks of various Genesis are less resistant to flooding than saline marine clays.

Key words: unsalted clays, saline clays, properties of clay rocks during leaching, degree and nature of salinity, clays containing pyrite, clays not containing pyrite.

For citation:

Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Alekseev A. F. [The main regularities of leaching and changes in the composition and properties of saline and unsalted clay rocks]. *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], 2020, iss. 3, pp. 42—53.

About authors:

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

Sergei A. Kalinovskii — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; sk0522@yandex.com

Aleksey F. Alekseev — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Docent of Engineering Geology and Geoecology Department, Ural State Mining University (UrSMU). 30, Kuibysheva st., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation; office@ursmu.ru

УДК 620.191.33:666.974.2

Р. А. Бурханова, Т. К. Акчурина, В. В. Вовко

Волгоградский государственный технический университет

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЖАРОСТОЙКИЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШЛАКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

В статье исследованы сорбционные свойства жаростойкого модифицированного бетона на жидком стекле и шлаковых заполнителях Волжского трубного завода БЭТ-методом. Для сравнительного анализа определены особенности изменения сорбционных свойств жаростойких бетонов на портландцементе, глиноземистом цементе и обычного бетона в результате высокотемпературного нагрева. Получены изотермы адсорбции жаростойких и обычного бетонов. Установлены данные по изменению удельной поверхности бетонов с повышением температуры нагрева и увеличением продолжительности воздействия высоких температур. Также определены изменения структуры и свойств исследуемых материалов в зависимости от вида, состава и гигроскопических свойств, входящих компонентов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: БЭТ-метод, модифицированный бетон, жаростойкий бетон, капиллярно-пористая структура.

Научно-технический прогресс в строительстве предусматривает широкое применение новых эффективных промышленных конструкций и материалов, значительное улучшение их качества и повышение долговечности. В выполнении этой задачи большая роль отводится жаростойким бетонам и конструкциям из них. Применение крупноразмерных блоков и панелей из таких бетонов и железобетона позволяет разработать новые конструктивные решения, механизировать строительные процессы и ликвидировать ручной труд, снизить стоимость, уменьшить продолжительность возведения, повысить надежность и долговечность работы теплотехнических сооружений. Таким образом, задача повышения трещиностойкости и долговечности жаростойких бетонов является актуальной.

Авторами было проведено исследование структуры бетонов на основе данных сорбционных измерений по парам воды с последующим определением удельной поверхности БЭТ-методом [1, 2]. Усовершенствованный метод капиллярной конденсации с учетом объема пор воздухововлечения позволяет получить полную информацию об объеме порового пространства в материале, а также существенно уточнить ее в диапазоне размеров пор до 10^{-7} м.

В работе определялись сорбционные свойства модифицированного жаростойкого бетона на жидком стекле и шлаковых заполнителях, с тонкомолотой шлаковой добавкой Волжского трубного завода (ОАО «ВТЗ»). Для сравнения были исследованы жаростойкие бетоны на портландцементе, на глиноземистом цементе и обычный бетон [3, 4]. Выявлялись особенности изменения сорбционных свойств указанных видов бетонов в результате высокотемпературного нагрева [5].

Щебень шлаковый электросталеплавильного производства Волжского трубного завода представляет собой сыпучий материал темно-серого цвета с металлическим блеском, крупностью 10...20 мм, пустотностью 0,43; насып-

ной плотностью 1,380...1,400 г/см³; истинной плотностью 2,3 г/см³. Его химический состав представлен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Химический состав шлака ОАО «ВТЗ»

Наименование материала	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
Металлургический шлак (крупный)	24,6	18,8	12,3	22,3	11,4
Металлургический шлак (отсев)	21,3	20,7	14,6	25,5	13,3
Металлургический шлак (фракции 0...10)	19,1	25,8	4,8	13,9	13,9

Данный материал имеет следующие показатели качества:

- марка по пределу прочности на сжатие — М 1200;
- марка по истираемости — И 1;
- насыпная плотность — 1530 кг/м³;
- значение удельной эффективности естественных радионуклидов — до 370 Бк/кг;
- морозостойкость — не ниже марки F50;
- содержание пылевидных и глинистых частиц — не более 0,6 %.

Макроструктура шлака пористая, содержит закристаллизованную стекловидную составляющую, частицы которой имеют окраску от бесцветной до бурой. Последнее свидетельствует о наличии в структуре оксидов железа. Как подтверждает рентгеноструктурный анализ (рис. 1), металлургический шлак, образовавшийся в результате медленного охлаждения, полностью кристаллизуется и почти не содержит стекла [6—8].

$d \cdot 10^{-10}, \text{ м}$

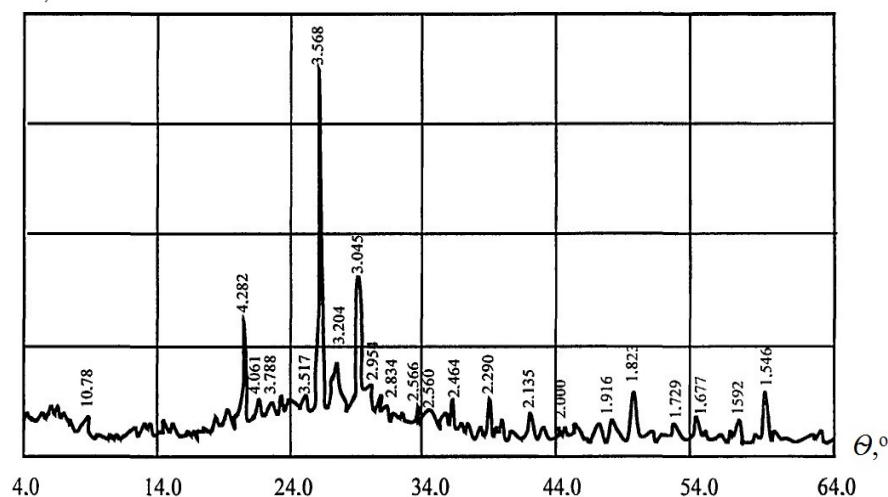


Рис. 1. Рентгенограмма металлургического шлака: d — расстояние между плоскостями, м; θ — угол между направлением пучка и плоскостями, которые отражают лучи, градус

В шлаке содержатся минералы, присутствие которых подтверждает наличие у них скрытой активности. Это ларнит (β -2CaOSiO₂) с отражениями $d = 3,79; 3,38; 3,24; 2,49 \cdot 10^{-10}$ м, бредигит (α -2CaOSiO₂) с отражениями

$d = 2,29; 2,00 \cdot 10^{-10}$ м, мервинит ($3\text{CaOMgO}2\text{SiO}_2$) с отражениями $d = 2,96; 2,82; 2,66; 1,85; 1,556 \cdot 10^{-10}$ м, геленит ($2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$) с отражениями $d = 3,47; 2,82; 2,21; 1,75; 1,68 \cdot 10^{-10}$ м, гаусманнит (MnMn_2O_4) с отражениями $d = 2,48 \text{ \AA}$, вюстит (FeO) с отражениями $d = 4,93; 2,48; 2,15 \cdot 10^{-10}$ м.

Низкое содержание в шлаке достаточного количества активных фаз объясняет практически отсутствующую способностью твердеть при обычной температуре без активизирующих добавок при его тонком измельчении. Поэтому в исследовании использовался тонкомолотый шлак ВТЗ в качестве микронаполнителя мелкозернистых бетонов [9].

Принятый для исследований бетон предварительно нагревали до температур 105, 300 и 800 °С. Скорость подъема температуры была задана 100 °С в час, выдержка при заданной температуре 72 часа, охлаждение со скоростью 40 °С в час. Использовались две серии навесок по 30...50 г. Одна серия предназначалась для получения данных адсорбции, другая — десорбции. Точку на кривых десорбции ($P/P_s = 0,98$) получали после предварительного насыщения бетона водой под вакуумом (1,10...4 мм рт. ст.) [10, 11].

Сушку образцов для получения исходной точки на кривой адсорбции для бетона, не подвергавшегося нагреванию, а также определение равновесной влажности (количество испаряемой влаги) при всех принятых значениях (P/P_s) вели «Д»-методом (рис. 2), за счет разности давлений и температур в эксикаторе и окружающей среде. Охлаждение ловушки-влагоуловителя производилось над сухим льдом при температуре 79° С (давление паров воды в эксикаторе над образцами 5,10 мм рт. ст.).

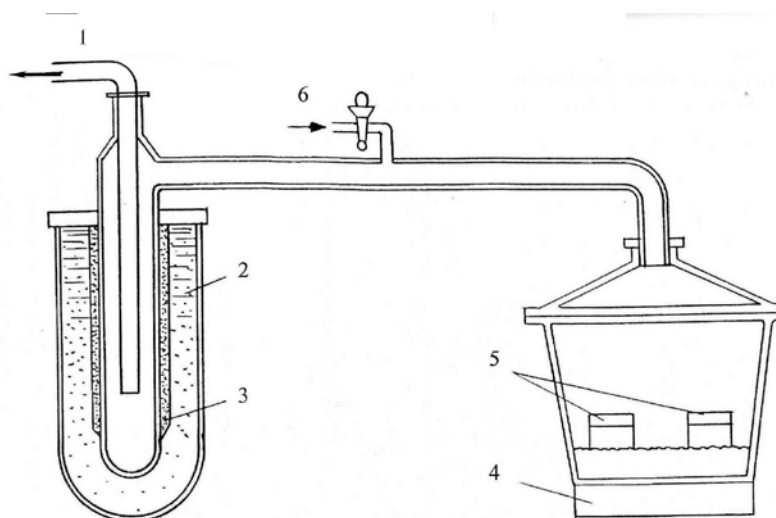


Рис. 2. Схема установки для сушки образцов: 1 — к насосу; 2 — сухой лед со спиртом; 3 — изоляция; 4 — эксикатор; 5 — образцы для впуска воздуха

Изотермы сорбции паров воды были получены по равновесной влажности бетона над насыщенными растворами солей (рис. 3—7). Температура в камерах поддерживалась постоянной (20 °С), контроль влажности вели датчиками влажности и одновременно по температуре сухого и мокрого термометра.

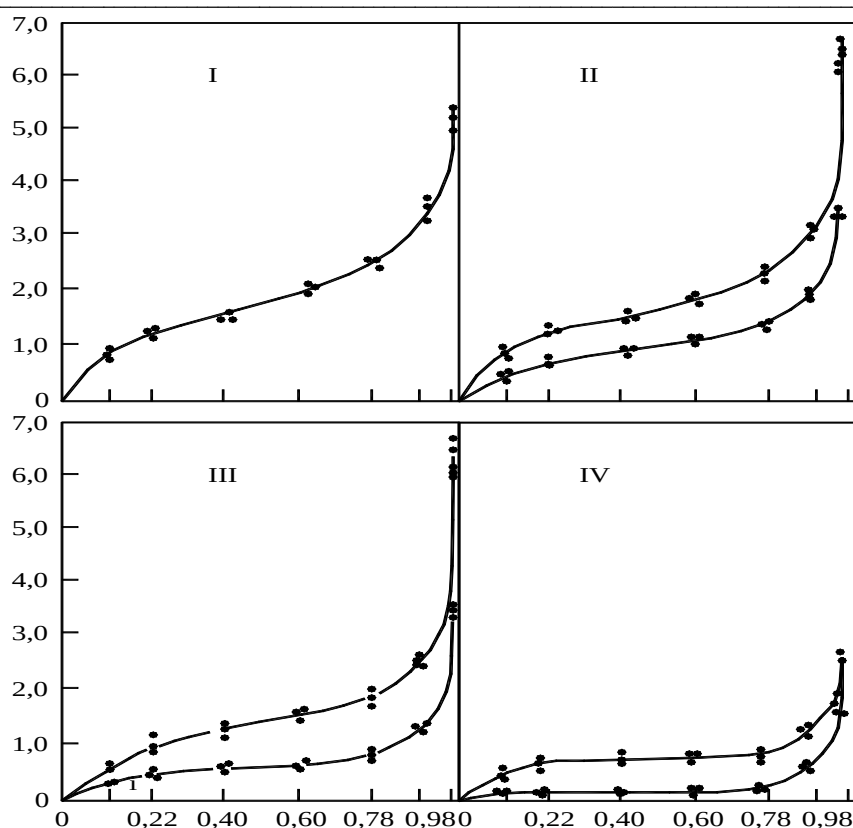


Рис. 3. Изотермы сорбции паров воды: *I* — изотерма десорбции жаростойкого бетона на портландцементе, не подвергавшегося нагреванию; *II* — изотермы адсорбции и десорбции после нагрева при температуре 105 °С; *III* — изотермы адсорбции и десорбции после нагрева при температуре 300 °С; *IV* — изотермы адсорбции и десорбции после нагрева при температуре 800 °С

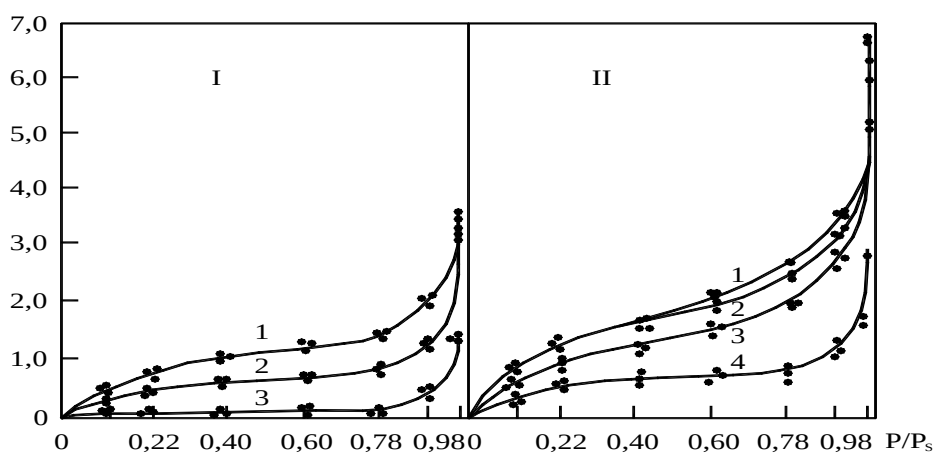


Рис. 4. Влияние нагрева на изменение сорбционных свойств жаростойкого бетона на портландцементе: *I* — адсорбция: 1, 2, 3 — после нагрева при температурах 105, 300, 800 °С; *II* — десорбция: 1 — бетон не подвергался нагреванию; 2, 3, 4 — после нагрева при температурах 105, 300, 800 °С

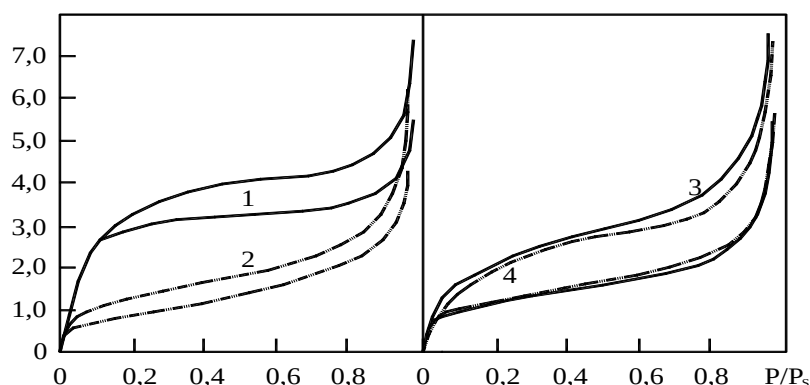


Рис. 5. Изотермы сорбции паров воды жаростойким бетоном на глиноземистом цементе: 1 — бетон не подвергался нагреву; 2, 3, 4 — соответственно после нагрева при температурах 105, 300, 800 °С

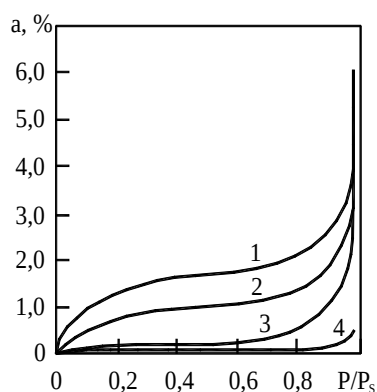


Рис. 6. Изотермы десорбции паров воды жаростойким бетоном на жидком стекле: 1 — бетон не подвергался нагреву; 2, 3, 4 — соответственно после нагрева при температурах 105, 300, 800 °С

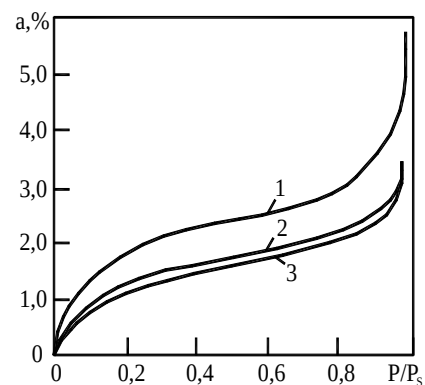


Рис. 7. Изотермы десорбции: 1 — керамзитобетон; 2, 3 — соответственно обычный бетон с карбонатным и гранитным заполнителями

По результатам исследований сорбционные характеристики жаростойких бетонов на жидком стекле на шлаковых заполнителях, на портландцементе, на глиноземистом цементе и обычного бетона отличаются в зависимости от вида, состава и гигроскопических свойств входящих компонентов. Для изотерм адсорбции жаростойких и обычного бетонов, а также пористых заполнителей характерен гистерезис [12—14].

Удельную поверхность бетона получали по данным сорбционных измерений БЭТ-методом [1], основное уравнение для расчета удельной поверхности (S) капиллярно-пористых материалов имеет вид [3, 15—17]:

$$S = \frac{a_m N}{M} A_m, \quad (1)$$

где a_m — емкость мономолекулярного слоя; M — молекулярная масса адсорбата; A_m — площадь, занимаемая молекулой адсорбата в заполненном монослое; N — число Авогадро.

Значение a_m определяли из линейной формы БЭТ-уравнения [2]:

$$\frac{P/P_s}{a(1-P/P_s)} = \frac{1}{a_m C} + \frac{C-1}{a_m C} \cdot P/P_s, \quad (2)$$

где a — адсорбция при соответствующем относительном давлении P/P_s на единицу массы адсорбента (бетона); C — константа, связанная с теплотой адсорбции и температурой. Значение C использовали для приближенного расчета теплоты адсорбции:

$$Q_1 - L \approx RT \ln C, \quad (3)$$

где R — газовая постоянная; T — абсолютная температура; Q_1 — теплота адсорбции в первом слое и $L = 44 \cdot 106$ Дж/Кмоль — скрытая теплота конденсации при температуре 20 °С.

Подстановка экспериментальных данных при $P/P_s < 0,45$ в уравнении (2) позволяет определить угол наклона (φ) прямой линии $(C-1)/a_m C$, отсекающей на оси ординат отрезок $a = 1/a_m C$.

$$\text{Величина } \operatorname{tg} \varphi = b = \frac{C-1}{a_m C}.$$

Значения a_m и C определяли из уравнений:

$$a_m = \frac{1}{a+b} \text{ и } C = \frac{b}{a} + 1. \quad (4)$$

Исследования показали, что нагрев бетонов приводит к снижению их сорбционного влагосодержания, особенно после 800 °С [18, 19].

Это позволяет количественно оценить структурные изменения, происходящие в бетоне в результате нагрева. В зависимости от вида и состава удельная поверхность жаростойких бетонов до нагревания составляет 40...80 м²/г и существенно уменьшается при нагреве [20, 21].

Влияние нагрева на изменение структурных характеристик жаростойких бетонов приведено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Структурные характеристики жаростойкого
 модифицированного бетона с использованием шлаковых заполнителей (МБШ)
 и жаростойкого бетона на портландцементе (ЖБП)**

Температура нагрева бетона, °С	Удельная поверхность S , м ² /г	Теплота адсорбции C , Дж/кмоль	$(Q_1 - L) \cdot 10^6$, Дж/кмоль	Пористость по объему П, %
20	<u>44,8</u> 40,0	<u>13,4</u> 22,64	<u>6,14</u> 7,50	<u>36,40</u> 27,4
105	<u>42,20</u> 40,00	<u>16,13</u> 20,41	<u>6,78</u> 7,23	<u>33,00</u> 26,3
300	<u>41,00</u> 40,70	<u>7,82</u> 9,14	<u>4,68</u> 5,11	<u>33,7</u> 26,0
800	<u>23,7</u> 24,7	<u>13,32</u> 14,25	<u>6,12</u> 6,30	<u>42,2</u> 33,1

* Над чертой МБШ, под чертой ЖБП.

Структурные характеристики жаростойкого бетона на глиноземистом цементе (ЖБГ) и обычного бетона на портландцементе представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

*Структурные характеристики жаростойкого бетона на глиноземистом цементе (ЖБГ) и обычного бетона на портландцементе (ОБ)**

Температура нагрева бетона, °С	Удельная поверхность S, м ² /г	Теплота адсорбции С, Дж/кмоль	$(Q_1 - L) \cdot 10^6$, Дж/кмоль	Пористость по объему П, %
20	<u>77,88</u>	<u>49,21</u>	<u>9,44</u>	<u>26,8</u>
	28,67	8,2	4,8	16,2
105	<u>22,65</u>	<u>20,74</u>	<u>7,27</u>	<u>26,1</u>
	21,59	17,05	6,75	15,6
300	<u>26,19</u>	<u>89,28</u>	<u>10,93</u>	<u>28,6</u>
	10,11	28,43	8,07	14,7
800	<u>24,78</u>	<u>140,48</u>	<u>12,05</u>	<u>28,5</u>
	—	—	—	19,1

* Над чертой ЖБГ, под чертой ОБ.

В результате исследований определено, что нагрев бетонов приводит к уменьшению их удельной поверхности. Причем в обычном бетоне (ОБ) это уменьшение имеет более плавный характер, чем в жаростойком бетоне (ЖБГ), особенно, если сравнивать величины удельной поверхности (S) при нормальной температуре и после нагревания при температуре 105 °С. Изменение величины S в жаростойком бетоне на портландцементе (ЖБП) отличается от жаростойкого бетона на глиноземистом цементе (ЖБГ). Для ЖБП характерно незначительное изменение удельной поверхности в температурном интервале 20...300 °С, а затем резкое снижение величины S после нагревания при 800 °С. При одинаковых условиях характер изменения удельной поверхности легкого модифицированного жаростойкого бетона (МБШ) при нагреве ближе к ОБ и ЖБП, чем к ЖБГ. Абсолютные значения S при нормальной температуре оказались наибольшими для ЖБГ, а значения S для ЖБП и ГБШ имеют близкие значения при их нагреве в интервале от 20 до 800 °С.

Уменьшение удельной поверхности бетонов происходит не только с повышением температуры нагрева, но и с увеличением продолжительности воздействия высоких температур. Чем выше температура и продолжительней нагрева, тем в большей степени происходит уменьшение удельной поверхности бетона.

Нагрев бетонов при высоких температурах приводит к значительному изменению их структуры. Изменяется общий объем пор, происходит перераспределение объемов пор по их структурам, что, в свою очередь, приводит к изменению соотношения между количеством мелких и более крупных пор.

Установлены данные по изменению пористой структуры жаростойких и обычного бетонов при нагреве. Нагрев жаростойких бетонов на портландцементе вызывает огрубление их пористой структуры; происходит перераспределение объемов пор по размерам и за счет сокращения объемов мелких пор, при незначительных изменениях общей пористости средний радиус пор в бетоне возрастает. Жаростойкий бетон на глиноземистом цементе отличается

от других видов жаростойких бетонов крупной поровой структурой. В ненагретом бетоне, а также после нагрева при температурах 105, 300 и 800 °С объем пор радиусом менее 10^{-7} м составляет от 25 до 36 % от общего объема пор, равного 26...29 %. Остальной объем занимают более крупные поры, что примерно соответствует распределению пор в шамоте. По сравнению с этим видом бетона структура обычного бетона является мелкопористой. Так, в температурном интервале от 20 до 600 °С общая пористость обычного бетона наименьшая и с учетом пор воздухововлечения изменяется в пределах от 16 до 19 %, в зависимости от температуры нагрева бетона. При этом объем пор радиусом меньше 10^{-7} м составляет до 72 % от общего объема. Обычный и жаростойкий бетон на портландцементе являются материалами с тонкой поровой структурой. По этой причине гидродинамическое сопротивление структуры бетонов на портландцементе перемещению влаги в виде жидкости и пара при сушке и первом разогреве до рабочих температур выше, а газопроницаемость значительно ниже, чем бетонов на глиноземистом цементе.

Сорбционные свойства жаростойких бетонов зависят от вида, состава и гигроскопических свойств входящих компонентов. Причем чем мельче поры в материале, тем раньше начинается капиллярная конденсация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. М. : Изд. иностр. литер., 1946. 781 с.
2. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, прочность, пористость. М. : Мир, 1970. 407 с.
3. Федянина А. В., Акчурин Т. К., Григорьевский В. В. Влияние нагрева на изменение капиллярно-пористой структуры легкого бетона на керамзитовом заполнителе сорбционным БЭТ-методом // Инженерные проблемы строительного материаловедения, Геотехнического и дорожного строительства : материалы IV Международной научно-технической конференции. Волгоград : ВолгГАСУ, 2013. С. 241—245.
4. Mohammeda M. K., Al-Hadithi A. I., Mohammed M. H. Production and optimization of eco-efficient self compacting concrete SCC with limestone and PET // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 197. Pp. 734—746.
5. Шевченко В. И., Чередниченко Т. Ф., Григорьевский В. В. Разработка теории и методов определения характеристик трещиностойкости и долговечности бетонов : отчет о НИР № 2.1-91. Волгоград : ВолгИСИ, 1991. С. 72.
6. Gadzhiev A. M., Kurbanov R. M., Khadzhashalapov G. N. The influence of the filler grain composition on the properties of the heat-resistant basaltic // Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017. Vol. 44. No. 3. Pp. 146—155.
7. Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин Ю. В. Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами // Изв. вузов. Строительство. 1997. № 4. С. 68—72.
8. Данилович И. Ю., Сканава Н. А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов. М. : Высш. шк., 1988. 72 с.
9. Balakrishna M. N., Mohamad F., Evans R. Durability of concrete with differential concrete mix design // Engineering and Technology (IRJET). 2020. Vol. 7. No. 4. Pp. 696—701.
10. Волков Ю. С. Применение сверхпрочных бетонов в строительстве // Бетон и железобетон. 1994. № 7. С. 27—31.
11. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны в практике современного строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 9. С. 23—25.
12. Высокий В. А. Оптимизация составов бетона с дисперсными минеральными добавками // Бетон и железобетон. 1990. № 2. С. 7—9.
13. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. 368 с.
14. Краснов А. М. Высоконаполненный мелкозернистый бетон повышенной прочности // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 8—10.
15. Латышева Л. Ю., Смирнов С. В. Бетоны нового поколения для быстрого и прочного строительства // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. № 3. С. 17.

16. Проталинский А. Н. Модифицирование структуры бетонов отходами промышленно-сти западной Сибири // Проблемы и пути создания композиц. материалов и технологии из вторич. минерал, ресурсов : сб. тр. науч.-прак. семинара. Новокузнецк, 2003. С. 188—197.
17. Рахимов Р. З. Разработка и реализация программного обеспечения «CONCRETE» для проектирования и корректировки высококачественных бетонов // Бетон и железобетон. 2002. № 6. С. 2—5.
18. Al-Hadithi A. I., Hilal N. N. The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers // Building Engineering. 2016. Vol. 8. Pp. 20—28.
19. Дворкин Л. И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. Киев : Будивельник, 1991. 133 с.
20. Саенко С. М., Очкина Н. А. Специальные мелкозернистые бетоны повышенной плотности // Тез. докл. VI Междун. семинара «Строит, и отделоч. материалы. Стандарты 21 века». Новосибирск, 2001. С. 61—62.
21. Хархардин А. Н. Способ получения высокоплотных составов зернистого сырья // Изв. вузов. Строительство. Новосибирск, 1996. № 10. С. 56—60.

© Бурханова Р. А., Акчурин Т. К., Вовко В. В., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Бурханова Р. А., Акчурин Т. К., Вовко В. В. Модифицированные жаростойкие бетоны с использованием шлаковых заполнителей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 54—63.

Об авторах:

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

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

Вовко Владимир Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Renata A. Burkhanova, Talgat K. Akchurin, Vladimir V. Vovko

Volgograd State Technical University

MODIFIED HEAT-RESISTANT CONCRETE USING SLAG AGGREGATES

The article investigates the sorption properties of modified heat-resistant concrete based on liquid glass and slag aggregates produced at Volzhsky Pipe Plant through the BET method. For the purpose of comparative analysis, the specific features of the changes in the sorption properties of heat-resistant Portland cement concrete and aluminous cement concrete as well as of ordinary concrete resulted from high-temperature heating have been determined. The adsorption isotherms of heat-resistant and ordinary concretes have been obtained. The data on the changes in concrete specific surface area due to an increase in the heating temperature and elongated duration of the exposure to high temperatures have been found. The authors have also revealed the changes in the structure and the properties of the materials under investigation depending on the type, composition and hygroscopic behavior of the components included.

Key words: BET method, modified concrete, heat-resistant concrete, capillary-porous structure.

For citation:

Burkhanova R. A., Akchurin T. K., Vovko V. V. [Modified heat-resistant concrete using slag aggregates]. *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], 2020, iss. 3, pp. 54—63.

About authors:

Renata A. Burkhanova — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Building Materials and Special Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; renata_vlg@mail.ru

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

Vladimir V. Vovko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Construction Materials and Special Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

УДК 691

**А. В. Игнатов^а, Т. В. Крапчцова^б, И. В. Стефаненко^а, В. А. Бабкин^а,
В. Т. Фомичёв^а, Т. К. Акчурин^а**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *АО «Себряковцемент»*

^а *Себряковский филиал Волгоградского государственного технического университета*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЖИЖАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИГНОСУЛЬФОНАТА В ЦЕМЕНТНОЙ КОМПОЗИЦИИ

В настоящей статье показано, что улучшение структуры лигносульфоната улучшает свойства композиционных материалов, в состав которых он входит. Модифицирование ЛСТ добавками не только значительно увеличивает подвижность цементных композиций при сохранении их марочной прочности, но и существенно снижает ВЦ с повышением прочности цементного камня до 40 %. ЛСТ, подвергнутый модифицированию, по основным свойствам можно отнести к эффективным, снижающим водопотребность цементной смеси добавкам — суперпластификаторам.

К л ю ч е в ы е с л о в а: портландцемент, минеральные добавки, цемент низкой водопотребности, суперпластификатор, бетоны, клинкер, ЛСТ.

Введение

Лигносульфонаты (ЛСТ) — соли лигносульфоновых кислот, которые получают путем извлечения спиртов, органических кислот и других веществ из образующихся при варке целлюлозы отработанных сульфитных щелоков [1—7].

Лигносульфонаты имеют высокую поверхностную активность, что позволяет использовать их в качестве анионных поверхностно-активных веществ в различных областях промышленности. Лигносульфонат находит широкое распространение в промышленности и применяется как крупнотоннажный компонент при производстве бетона.

Лигносульфонаты начали применять в этой области с тридцатых годов прошлого века. Основной принцип работы лигносульфонатов в бетонных смесях основан на механизме адсорбции и пленкообразовании за счет высокодисперсных гидратных фаз. В воде обычно находятся в коллоидном состоянии, создает стойкие эмульсии и пены. При концентрации выше 30 % вязкость растворов лигносульфонатов резко повышается. При этом вязкость зависит от природы катиона и температуры, сильное снижение вязкости наблюдается при температуре выше 20 °С. При температуре 100...120 °С концентрат лигносульфоната это вязкий малоподвижный продукт, который при охлаждении до 20 °С становится твердым монолитом. Дальнейшее охлаждение приводит к хрупкости вещества. Температура застывания концентрата лигносульфонатов зависит от остаточного количества влаги. При концентрациях свыше 80 % застывает при температуре от 87 до 108 °С. Лигносульфонаты широко применяются в нефтяной промышленности в качестве замедлителей для цементных растворов при цементировании скважин [8—13].

Целью данной работы является исследование разжижающей способности модифицированного ЛСТ в цементной композиции.

Материалы и методы исследований

В качестве вяжущего в эксперименте использовали цемент Себряковского производства (тип — ЦЕМ I 32,5Н в соответствии с ГОСТ 31108—2016) и портландцементный клинкер. Химическим анализом установлен следующий минералогический состав для этого цемента, по массе сухого вещества:

- C_3S — 63,4 %;
- C_2S — 16,34 %;
- C_3A — 6,36 %;
- C_4AF — 4 %;
- $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — 6,26 %;
- $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ — 3,64 %.

Для портландцементного клинкера:

- C_3S — 64,34 %;
- C_2S — 7,28 %;
- C_3A — 5,86 %;
- C_4AF — 12,52 %.

Химический состав портландцемента характеризуется содержанием следующих оксидов:

- SiO_2 — 21,25 %;
- CaO — 64,85 %;
- MgO — 1,32 %;
- Fe_2O_3 — 3,33 %;
- Al_2O_3 — 4,53 %;
- SO_3 — 3,20 %.

Химический состав портландцементного клинкера:

- SiO_2 — 22,32 %;
- CaO — 66,58 %;
- MgO — 1,40 %;
- Fe_2O_3 — 4,12 %;
- Al_2O_3 — 4,85 %;
- SO_3 — 0,23 %.

Основные физико-механические характеристики используемого портландцемента, определенные по ГОСТ 30744—2001, равны: плотность — 3,08 г/см³, насыпная плотность — 1,05 г/см³, тонкость помола — 12,1 %, нормальная густота — 27,5 %, сроки схватывания — начало 2 ч, конец — не регламентируется, предел прочности в возрасте 28 суток — при сжатии 37 МПа, при изгибе 5,32 МПа. Пластификаторы и ускорители твердения использовались в соответствии с ГОСТ 24211—91 «Добавки для бетонов. Технические требования». В качестве пластифицирующей добавки в работе применяли модифицированный лигносульфонат технический.

По паспорту-сертификату лигносульфонат натрия по ТУ 54-028-00279580—97 имеет следующие качественные показатели: внешний вид, цвет — мучнистый светло-желтый порошок; массовая доля сухих веществ, % — не менее 97,5; массовая доля основного вещества, % — не менее 65,83; массовая доля золы к массе сухих веществ, % — не более 19,25; массовая доля нерастворимых в воде веществ к массе сухих веществ, % — не нор-

мируется; концентрация ионов водорода рН, ед. — не менее 5,22; предел прочности при растяжении высушенных образцов, МПа — не более 0,75; плотность, г/см³ — 1,28.

В сравнении с обычным лигносульфонатом был использован ЛСТ химически модифицированной формы. Для улучшения реологических возможностей лигносульфонат технический обрабатывали отходами светотехнической промышленности — отработанные травильные растворы, содержащие наряду с различными примесями и технической водой серную кислоту — 399,03 г/л, азотную кислоту — 248,24 г/л, медь и цинк, в виде сульфатов и нитратов — 25,5 и 10,1 г/л соответственно.

Для ускорения гидратации цементного камня использовали сульфат натрия, нитрат натрия, тринатрийфосфат, хлорид кальция, водный раствор силиката натрия (жидкое натриевое стекло). В работе применяли сульфат натрия (Na₂SO₄) по ГОСТ 6318—77, нитрат натрия (NaNO₃) по ГОСТ 828—77, тринатрийфосфат (Na₃PO₄) по ГОСТ 201—76, хлорид кальция (CaCl₂ · 6H₂O) по ГОСТ 450—77. Искользованные ускорители твердения представляют собой порошки светлого цвета квалификации «Ч» (кроме силиката щелочного металла), хорошо растворимые в воде.

Наполнителями для вяжущего являлись минеральные добавки на основе природных материалов — опока, глина.

Опока Вольского месторождения горы Большой и Малый маяк, расположенного в 7 км северо-восточнее г. Вольска.

Химико-минералогический состав опоки в % по массе представлен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Химико-минералогический состав опоки в % по массе

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ППП
от 78,14	8,19	4,07	1,05	0,08	0,28	2,28
до 80,55	10,15	5,13	2,36	0,99	0,83	3,53

Влажность естественная — 29,1 %, гидравлическая активность — 200...340 мг/г, объемная масса — 1,58 т/м³.

Опока состоит в основном из минералов опал-кристобалита. В шлифе материал имеет мелколинзовидную слоистую структуру, вследствие обогащенности основной массы рассеянной органикой. Структура — тонкопелитовая.

При химической модификации глин использовали концентрированную серную кислоту H₂SO₄ по ГОСТ 2184—77. Кроме того, для регулирования сроков схватывания молотого портландцементного клинкера применяли в работе двухводный гипс CaSO₄ · 2H₂O ГОСТ 4013—82. Поставляется с АОЗТ «Минерал-Кнауфф» г. Баскунчак Астраханской области, ст. Хаджок, Адыгея.

Стандартные испытания цементов проводились в соответствии с ГОСТ 30744—2001, включая в себя определение плотности и тонкости помола цемента, нормальной густоты, сроков схватывания цементного теста, предела прочности при изгибе и сжатии.

Влияние химических добавок на реологические возможности цементного теста в работе определяли с помощью стандартного цилиндра Суттарда размерами d = 50 мм, /2 = 100 мм.

Рентгенофазовые исследования, применяемые для определения минералогического состава цементов и продуктов его гидратации, проводились на приборе ARL X'TRA фирмы TermoTechno, сконструированном по принципу вертикальной геометрии Брэгга-Брентано.

Результаты исследований

В работе было проведено исследование разжижающей способности модифицированного ЛСТ при его содержании в цементных композициях 0...0,9 % от массы вяжущего в пересчете на сухое вещество добавки при неизменном В/Ц (оценка проводилась по растекаемости цементного теста на вискозиметре типа Суттарда и выражалась в сантиметрах), а также исследовалось уменьшение количества воды пластифицированных композиций при сохранении их нормальной плотности. Кроме того, было изучено влияние химически модифицированного ЛСТ на прочность цементных композиций при неизменном В/Ц и при сохранении ими нормальной плотности теста (влияние оценивалось по пределам прочности композиций в возрасте 28 суток, выдержанных в нормальных влажностных условиях). Результаты исследований представлены в табл. 2—5.

Таблица 2

*Зависимость растекаемости цементных композиций
от содержания пластифицирующей добавки ЛСТ*

Количество добавки, %	Растекаемость
0	6
0,15	6
0,3	7,5
0,45	8
0,6	10
0,75	12
0,9	13

Таблица 3

*Зависимость растекаемости цементных композиций
от содержания пластифицирующей добавки ЛСТ модифицированной*

Количество добавки, %	Растекаемость
0	6
0,15	8
0,3	12
0,45	13,5
0,6	15,5
0,75	17,5
0,9	20

На основании представленных в табл. 2 зависимостей свойств пластифицированных цементных композиций от содержания добавки можно констатировать, что модифицированные лигносульфонаты обладают большими разжижающими способностями по сравнению с ЛСТ. Как показывают результаты исследований растекаемости цементных композиций, пластифицированных исходным и модифицированным ЛСТ, химическое модифицирова-

ние повышает эффективность ЛСТ до 60 %. Данные, представленные в табл. 3, показывают увеличение водоредуцирующей способности модифицированного лигносульфоната. Снизить нормальную густоту цементного теста при пластификации его такой добавкой можно на 5...10 %, в зависимости от количества добавки. Таким образом, можно сказать, что модифицированный подобным образом ЛСТ обладает суперпластифицирующим действием на цементные композиции.

В настоящее время известно, что пластификаторы, в частности ЛСТ, оптимизируют структуру цементного камня. Это должно способствовать повышению его прочности, что и происходит при длительном хранении цементных композиций с немодифицированным ЛСТ.

Таблица 4

Зависимость водопотребности цементного теста нормальной густоты от содержания пластифицирующей добавки ЛСТ

Количество добавки, %	В/Ц
0	0,28
0,15	0,275
0,3	0,268
0,45	0,252
0,6	0,248
0,75	0,241
0,9	0,238

Таблица 5

Зависимость водопотребности цементного теста нормальной густоты от содержания пластифицирующей добавки ЛСТ модифицированной

Количество добавки, %	В/Ц
0	0,28
0,15	0,252
0,3	0,245
0,45	0,239
0,6	0,232
0,75	0,228
0,9	0,225

В таблице 4 можно видеть, что при малых концентрациях добавки (до 0,3 % от массы цемента) увеличение прочности композиции составляет примерно 10 %. Однако при высоком содержании лигносульфоната (более 0,3 % от массы цемента) наблюдается падение прочности цементных композиций, которое достигает 30 % при максимально исследуемой концентрации исходного ЛСТ.

Похожая зависимость изменения прочности композиции наблюдается и при их пластификации модифицированным лигносульфонатом (рис. 1).

Но у таких композиций при оптимальных концентрациях добавки наблюдается более значительный рост прочности (до 25 %), а при относительно высоких концентрациях — снижение прочности по сравнению с непластифицированной композицией не превышает 15...20 %. Кроме того, сравнение

кривых изменения прочности цементных композиций с модифицированными ЛСТ еще раз доказывает эффективность применения в качестве модифицирующего реагента отхода «Б».

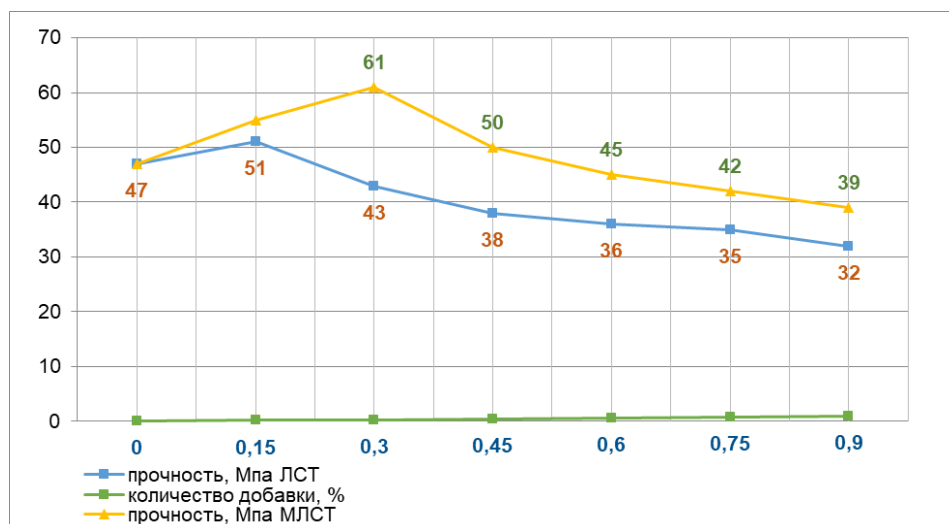


Рис. 1. Зависимость прочности цементных композиций от содержания пластифицирующей добавки ($B/C = \text{const}$)

Изучение кривых зависимостей прочности равноподвижных цементных композиций от вида и содержания пластифицирующих добавок (рис. 2), позволяет подтвердить и несколько расширить ранее сделанные выводы.

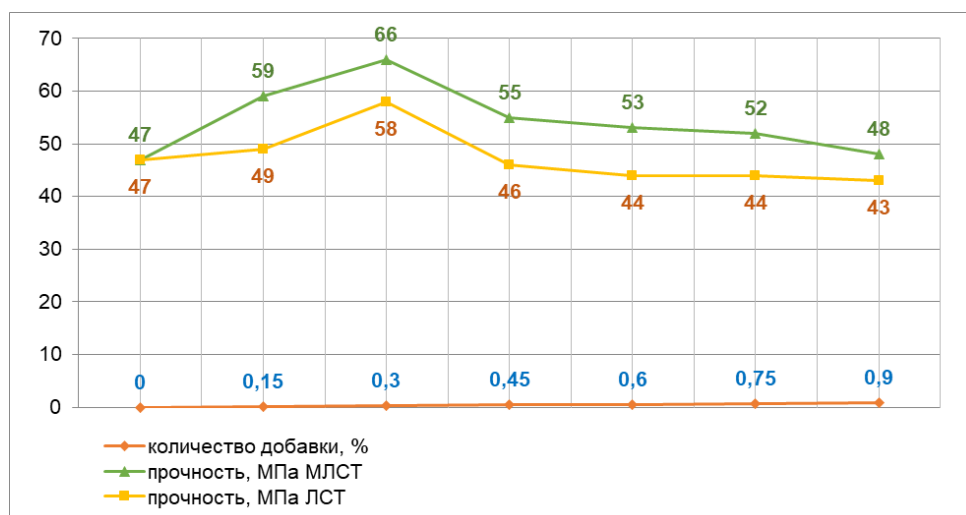


Рис. 2. Зависимость прочности равноподвижных цементных композиций от содержания пластифицирующей добавки

Без сомнения, лигносульфонат технический, обладающий пластифицирующим действием на цементные системы, способен улучшать структуру порового пространства цементного камня. Что, в свою очередь, и приводит к

совершенствованию всего комплекса физико-технических свойств цементных композиций пластифицированных ЛСТ и, как следствие, повышению их прочности. Особенно ярко это проявляется при снижении их водоцементного отношения. Однако значительного улучшения основных свойств в композиции с ЛСТ, с существенным снижением их В/Ц, достаточно сложно достичь. И, как отмечалось ранее, это прежде всего связано с отрицательными свойствами лигносульфоната (излишняя воздухоовлекающая способность, замедление гидратации цемента в присутствии ЛСТ и т. д.).

Таким образом, ЛСТ, подвергнутый модифицированию, по основным свойствам можно отнести к эффективным снижающим водопотребность цементной смеси добавкам — суперпластификаторам.

Выводы:

1. Радикальное улучшение свойств композиций с ЛСТ получается при условии улучшения самой структуры лигносульфоната.
2. Модифицирование добавки ЛСТ значительно увеличивает подвижность композиций при сохранении их марочной прочности и существенно снижает ВЦ с повышением прочности цементного камня до 40 %.
3. ЛСТ, подвергнутый модифицированию, по основным свойствам относится к эффективным снижающим водопотребность цементной смеси добавкам — суперпластификаторам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности / В. Г. Батраков, Н. Ф. Башлыков, Ш. Г. Бабаев и др. // Бетон и железобетон. 1988. № 11. С. 4—6.
2. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1998. 768 с.
3. Цементы низкой водопотребности — вяжущие нового поколения / Б. Э. Юдович, А. М. Дмитриев, С. А. Зубехин и др. // Цемент и его применение. 1997. № 4. С. 15—18.
4. Цемент низкой водопотребности: новые результаты и перспективы / Б. Э. Юдович, С. А. Зубехин, В. Р. Фаликман, Н. Ф. Башлыков // Цемент и его применение. 2006. № 4. С. 80—84.
5. Иванов Ф. М., Ратинов В. Б., Тринкер Б. Д. Практический опыт и перспективы применения химических добавок для повышения качества бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1978. 175 с.
6. Иванов Ф. М. Добавки в бетоны и перспективы применения суперпластификаторов. Бетоны с эффективными суперпластификаторами. М., 1979.
7. Иванов Ф. М. Добавки в бетоны и перспективы применения суперпластификаторов // Бетоны с эффективными суперпластификаторами. М., 1979. С. 6—21.
8. Awoyera P., Adesina. A. A critical review on application of alkali activated slag as a sustainable composite binder // Case Studies in Construction Materials. Vol. 11, December 2019.
9. Awoyera P. O., Akinmusuru J. O., Ndambuki J. M. Green concrete production with ceramic wastes and laterite // Constr. Build. Mater. 2016. No. 117. Pp. 29—36.
10. Using silica mineral waste as aggregate in a green high strength concrete: workability, strength, failure mode, and morphology assessment. / P. Murthi, P. Awoyera, P. Selvaraj, D. Dharsana etc. // Civ. Eng. 2018. Pp. 1—7.
11. Advances in alternative cementitious binders / M. C. G. Juenger, F. Winnefeld, J. L. Provis, J. H. Ideker // Cem. Concr. Res. 2011. No. 41. Pp. 1232—1243.
12. Shi C., Roy D., Krivenko P. Alkali-Activated Cements and Concretes. // CRC Press. London, 2003.
13. Provis J. L., Bernal S. A. Geopolymers and related alkali-activated materials // Annu. Rev. Mater. Res. 2014. No. 44. Pp. 299—327.

© Игнатов А. В., Крапчетова Т. В., Стефаненко И. В., Бабкин В. А.,
Фомичёв В. Т., Акчуринов Т. К., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование разжижающей способности модифицированного лигносульфоната в цементной композиции / А. В. Игнатов, Т. В. Крапчетьева, И. В. Стефаненко, В. А. Бабкин, В. Т. Фомичёв, Т. К. Акчурин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 64—72.

Об авторах:

Игнатов Алексей Викторович — аспирант кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; ignatovwork@yahoo.com

Крапчетьева Татьяна Владимировна — инженер центральной аналитической лаборатории, АО «Себряковцемент». Российская Федерация, Волгоградская обл., г. Михайловка, ул. Индустриальная, 2; iwankra@mail.ru

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57202815036, info@vgasu.ru

Бабкин Владимир Александрович — д-р хим. наук, профессор, академик РАН, академик Международной академии «Контенант», Себряковский филиал Волгоградского государственного технического университета. Российская Федерация, 403343, г. Михайловка, ул. Мичурина, 21; ORCID: 0000-0002-1187-8607, Scopus ID: 56236559600, babkin_v.a@mail.ru

Фомичёв Валерий Тарасович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 7006356025, cand@vstu.ru

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

Alexei V. Ignatov^a, Tatyana V. Krapchetova^b, Igor V. Stefanenko^a, Vladimir A. Babkin^c, Valerii T. Fomichev^a, Talgat K. Akchurin^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Sebryakovcement JSC*

^c *Sebryakovsky Branch of Volgograd State Technical University*

THE STUDY OF THE FLUIDIZING ABILITY OF THE MODIFIED LST IN THE CEMENT COMPOSITION

This article shows that improving the structure of lignosulfonate improves the properties of the composite materials in which it is included. Modification of LST with additives not only significantly increases the mobility of cement compositions while maintaining their brand strength, but also significantly reduces the water-cement ratio with an increase in the strength of cement stone to 40%. Modified LST, by its basic properties, can be attributed to effective additives reducing the water demand of the cement mixture — superplasticizers.

Key words: Portland cement, mineral additives, low water demand cement, superplasticizer, concrete, clinker, LST.

For citation:

Ignatov A. V., Krapchetova T. V., Stefanenko I. V., Babkin V. A., Fomichev V. T., Akchurin T. K. [The study of the fluidizing ability of the modified LST in the cement composition]. *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], 2020, iss. 3, pp. 64—72.

About authors:

Alexei V. Ignatov — Postgraduate student of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and gas Supply and Ventilation Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ignatovwork@yahoo.com

Tatyana V. Krapchetova — Engineer of the Central Analytical Laboratory, “Sebryakovcement” JSC. 2, Industrialnaya st., Mikhailovka, 403342, Russian Federation, iwankra@mail.ru

Igor V. Stefanenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57202815036, info@vgasu.ru

Vladimir A. Babkin — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of International Academy “Contentant”, Sebryakovsky Branch of Volgograd State Technical University. 21, Michurina st., Mikhailovka, 403343, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-1187-8607, Scopus ID: 56236559600, babkin_v.a@mail.ru

Valerii T. Fomichev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of General and Inorganic Chemistry Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 7006356025, cand@vstu.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, the Head of Construction Materials and Special Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539, info@vgasu.ru

УДК 628.4.04-405:691-41

А. А. Муратова, Ю. Н. Картушина

Волгоградский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МАКУЛАТУРЫ И ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Изучены свойства образцов теплоизоляционных изделий, изготовленных с добавлением макулатуры и полимерных отходов. Проведен анализ разных рецептур образцов на соответствие государственным стандартам, предъявляемым к данному типу строительных материалов. Экспериментальным путем определена зависимость плотности изделия от содержания макулатуры. Исследованы важные показатели качества полученных теплоизоляционных изделий, и сделан вывод о соответствии их стандартам. Следовательно, данный теплоизоляционный материал может быть рекомендован к использованию в качестве внутреннего стенового отделочного материала.

К л ю ч е в ы е с л о в а: теплоизоляционные изделия, вторичные материальные ресурсы, макулатура, полимерные отходы, плотность, теплопроводность, строительство.

Введение

Строительство новых зданий и сооружений, а также реконструкция уже введенных в эксплуатацию объектов требует затрат колоссального количества материальных ресурсов. В целях экономии энергоресурсов применяются различные виды утепления от целого ряда производителей теплоизоляции со всего мира (рис. 1—4).

В производстве строительных материалов применяют различные виды вторичного сырья, которое позволяет снизить себестоимость продукции без потери необходимых и продиктованных стандартами эксплуатационных ее свойств. Кроме того, в процессе строительства, но в большей степени реконструкции и сноса образуется ряд отходов, которые необходимо утилизировать ввиду огромного накопления этих и других видов отходов потребления. Стоит отметить, что часто несанкционированные свалки и полигоны захоронения в регионах состоят именно из массы отходов строительства.

Актуальность подбора экспериментального состава теплоизоляционных изделий, обуславливающих необходимые характеристики теплоизоляции, подтверждается назревшим вопросом ресурсосбережения и защиты окружающей среды. Целью данного исследования является получение образцов теплоизоляционных изделий с добавлением утильных компонентов — макулатуры и отходов полимерных изделий — с нормативными эксплуатационными свойствами, а также изучение экономической и экологической целесообразности их производства.

Определим исходные задачи исследования:

- добиться необходимой формоустойчивости изделия;
- определить состав, позволяющий снизить нагрузки на фундамент и несущие конструкции при сохранении прочности;
- снизить себестоимость продукции.

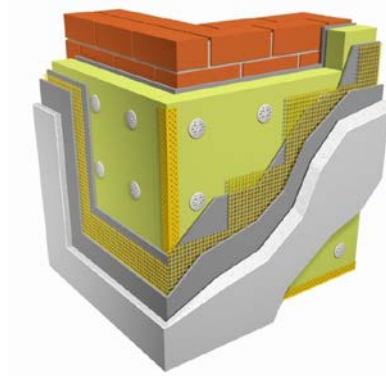


Рис. 1. Система многослойной теплоизоляции



Рис. 2. Вариант утепления стен



Рис. 3. Утепление стен пенопластом внутри помещений



Рис. 4. Теплоизоляция помещений фольгированным материалом

В настоящее время теплоизоляционные изделия производят из различного сырья, в том числе вторичного: древесины (опилок, стружек и прочего), торфа, камыша, из шерсти животных, макулатуры, стекла, бетона, различных шлаков, а также отходов полимерных изделий [1, 2]. Часть этих вторичных материальных ресурсов можно получить, например, из твердых коммунальных отходов. После соответствующей их подготовки [3] и очистки от органики [4] можно вовлекать их во вторичное производство вплоть до 30...40 %. В некоторых европейских странах эти показатели еще выше — до 70 % [5].

Рассмотрим некоторые типы теплоизоляционных и композитных изделий, в производстве которых в настоящее время используются утильные компоненты.

Распространенным и широко применяемым материалом в тепловой изоляции является стеклянная вата (стекловата). Производят данный материал из аналогичного сырья при производстве стекла (кварцевый песок), однако большой процент сырья можно заменить отходами, то есть стеклобоем. Этот вид отхода широко встречается в составе, например, отходов стеклянной промышленности, твердых коммунальных отходов, отработанных строительных материалов, брака готовых изделий и потерявших свои эксплуатационные свойства материалов. Бой стекла в производстве стеклянной ваты заменяет до 80 % исходного первичного сырья. ГОСТ Р 56617—2015 регламентирует ряд технических требований к данному виду отхода, добавляемому при производстве изоляционных изделий¹. В составе материала присутствует ряд химических добавок, например известняк, бура, борная кислота, доломит, кальцинированная сода, полимерные смолы, шпат и прочие добавки. Структура стекловаты (волокнистые продолговатые нити) обуславливает ее эксплуатационные качества, в числе которых не последнее место занимает возможность неоднократного прессования с последующим восстановлением формы (что важно при транспортировке); высокие упругие и прочностные свойства из-за достаточно высокой длины (до 50 мм) и толщины (до 20 мкм)

¹ ГОСТ Р 56617—2015. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Технические требования к стеклобою, предназначенному для использования в производстве стекловолнока. М. : Стандартинформ, 2019. 11 с.

волокон. Важно также то, что природа материала не подвержена биодegradации; он не плесневеет, не гниет, неблагоприятен для прочих живых организмов. С основными требуемыми показателями качества стеклянная вата сравняется, а именно соответствует хорошему диапазону теплопроводности: от $0,03 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ до $0,052 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ (в сухом состоянии); звуковую изоляцию материал обеспечивает; он морозоустойчив и негорюч; а также у него доступная стоимость².

Однако наряду с многочисленными положительными качествами материала стекловата обладает и некоторыми слабыми сторонами:

- необходимость соблюдения техники безопасности при монтаже и транспортировке, обязательно наличие средств индивидуальной защиты ввиду подверженности волокон к излому (рис. 5);
- вероятность усаживания стеклянной ваты;
- гигроскопичность материала, что требует специальной химической обработки для предотвращения попаданию влаги, а также конструкции пароизоляции материала.

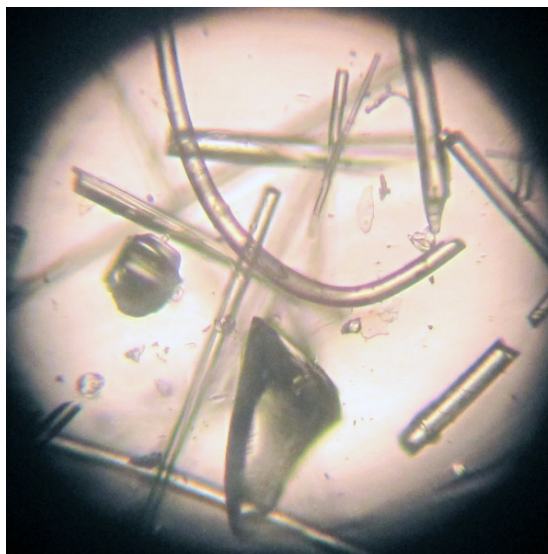


Рис. 5. Волокна стекловаты

Стеклянная вата подлежит утилизации, например как добавка в монолитном строительстве, а также в производстве блоков из пенобетона. Принимая во внимание вышеизложенное, видно, что стекловата является материалом, в котором реализуемым вторсырьем является стеклянный бой, а с учетом спроса на недорогой и в целом неплохой теплоизоляционный материал количества отходов, вовлекаемые в процесс, могут быть колоссальными. Добавки снижают себестоимость продукции и экономят природное сырье, решают проблему ресурсосбережения и утилизации отходов³ [6].

² Все о переработке вторсырья и утилизации отходов. URL: <https://rcycle.net/steklo/produksiya-iz-vtorichnogo/steklovata>.

³ Там же.

Эковата — относительный новый теплоизоляционный материал, применение которого в настоящее время набирает обороты. Его изготавливают из вторичного бумажного сырья — макулатуры (бумага, картон разных марок) и различных технологических добавок [7, 8]. Также эковата является наполнителем и основой для некоторых новых типов теплоизоляционных материалов [9].

Эковата в классическом понимании состоит из смеси следующего состава, представленного в табл. 1⁴.

Т а б л и ц а 1

Состав эковаты⁴

Компонент состава	Содержание, %
Целлюлозная масса, в том числе утильная	77...85
Гидрат тетрабората натрия	5...9
Кислотата борная	10...14

Рассмотрим достоинства эковаты:

- экологичность материала и утилизация отходов при его производстве;
- хорошие показатели звуковой изоляции;
- устойчивость к грибкам;
- относительно невысокая цена материала;
- техника укладки материала без швов.

Из-за ряда положительных аспектов эксплуатации, экологических и экономических показателей страны ближнего зарубежья внедряют новые технологии доступного малоэтажного строительства, а в качестве утеплителя используют эковату [10].

Однако у материала есть и некоторые недостатки:

- требуется специализированное дорогое оборудование и подготовка высококвалифицированных специалистов;
- монтаж затрудняет слеживаемость материала и трудность задувания материала в неровности и углубления;
- высокое пыление материала;
- в некоторых вариантах составов применяются небезопасные добавки;
- продолжительная сушка после мокрого нанесения материала (несколько суток);
- эковата усаживается в эксплуатации;
- низкая прочность и жесткость эковаты;
- тление эковаты.

Для устранения некоторых эксплуатационных недостатков материала разрабатываются аналоговые рецептуры. Например, одна из таких рецептур представлена в табл. 2 [11].

Новый состав обеспечивает как вовлечение дополнительного вида отходов в производство новых изделий, так и увеличение прочностных характеристик (на разрыв), а также снижение производственной стоимости ввиду использования такого типа отходов, который не нуждается в специальных подготовительных процедурах перед вовлечением в процесс.

⁴ ТУ 5761-028-02956140—2000. Вата целлюлозная «Эковата». 2001.

Однако и у новой рецептуры есть ряд недостатков, как, например, то, что, возможно, новому изделию потребуется улучшить стойкость против влаги и пожарную устойчивость — а для этого потребуется отобрать из производства отходы, содержащие лен или хлопок [11].

Т а б л и ц а 2

Состав аналоговой рецептуры («Эковата-2») [11]

Компонент состава	Содержание, %
Макулатура измельченная	50...60
Отходы изделий из войлока, пакли, «угарные» нетканых материалов	20...30
Гидрат тетрабората натрия	10
Кислота борная	10

Результатом технологии производства, где полимеры перемешиваются с древесиной, в том числе и с отходами деревообработки (неделовая древесина, щепа, стружка), затем подвергаются полимеризации, являются теплоизоляционные материалы, называемые древесно-полимерными композитами. В настоящее время ведутся разработки нового типа данных композиционных материалов — термопластичных (ДПКТ). В этих композитах в качестве связующего материала применяют термопластичные полимеры — полипропилен, поливинилхлорид (ПВХ), полистирол и другие. Эти материалы могут быть также утильными [1].

Продукция в виде плит и других типов изделий имеет ряд преимуществ: инертность, водостойкость, прочность, биостойкость. Однако существует ряд технологических недостатков при производстве ДПКТ-изделий:

- соблюдение строгих условий подготовки отходов деревообработки или щепы, в том числе при измельчении, которое должно давать на выходе однородную массу определенной фракции, а также сушке;
- малые сроки хранения подготовленного древесного порошка;
- необходимость специализированных присадок.

Существуют аналогичные технологические решения, где в качестве вяжущего используются минеральные связующие, такие как гипс, цемент, известь и другие. Изделия, полученные смешением древесного наполнителя с данным типом вяжущих, отнесены к арболитным плитам и другим подобным теплоизоляционным материалам [1].

Экспериментальная часть

Переходя к выбору вяжущего для создания разрабатываемого теплоизоляционного изделия, было учтено то, что себестоимость изделия с применением минеральных связующих вместо, например, пенополиуретана будет ниже, а прочность — выше [1]. Выбор типа отходов для использования как вторичного сырья в теплоизоляционных изделиях определялся их количеством в общей массе твердых коммунальных отходов; были выбраны макулатура и пластиковые отходы, так как их содержание в бытовых отходах России самое высокое после органической фракции [4].

Для экспериментального состава была отобрана макулатура. Ее волокнистая структура обеспечивает связь и прочность получаемого материала.

Использованная макулатура хранилась в специально оборудованных закрытых контейнерах с соответствующей маркировкой⁵. В качестве связующего материала использовался гипс строительный, его обозначение: Г-6 Б II ГОСТ 125—2018⁶.

В качестве отходов полимерных изделий использовались в основном следующие, согласно классификатору отходов: 33579271394; 43599131724; 82799001724⁷.

Разволокненные, а также обработанные растворяющими загрязняющие вещества и дезинфицирующими добавками макулатурные массы перемешиваются с полимерными отходами, прошедшими соответствующую сырьевую подготовку. Данная подготовка включает в себя контроль металломагнитных примесей, измельчение и очистку. Затем в смесь добавляется гипс, вода и антисептические агенты, а также антипирены, что является важным с точки зрения пожарной безопасности, изучаемой различными авторами [12]. Полученная масса перемешивается до гомогенизации смеси. После чего изделия подвергаются формовке и сушке.

Полученные образцы теплоизоляционных изделий контролируются на соответствие нормативам качества. Все образцы имеют одинаковую толщину⁸.

Обсуждение результатов

Ряд государственных стандартов регламентирует эксплуатационные характеристики теплоизоляционных изделий. Традиционно в разных странах основные важные характеристики теплоизоляционных изделий — плотность и теплопроводность [13]. Так, ГОСТ 16381—77 определяет технические требования (общие) для данного вида изделий и материалов. Теплопроводность полученных образцов соответствует регламентам, применяемым к данному типу изделий. Плотность получаемого теплоизоляционного материала, которая по ГОСТ 16381—77⁹ определяется также как объемная масса, не должна превышать 500 кг/м³. Поэтому ряд полученных опытных образцов, исследуемых авторами предлагаемой статьи, содержание макулатуры в которых отражает табл. 3, был исследован по величине плотности.

При определении плотностей образцов был использован метод по ГОСТ 17177—94¹⁰. Видно, что значения плотности образцов снижаются при повышении массового содержания макулатуры, что отражено на рис. 6.

⁵ ГОСТ 10700—97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия (с Изменением № 1). М. : Издательство стандартов, 2003.

⁶ ГОСТ 125—2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2018. 12 с.

⁷ Приказ Росприроднадзора от 22 мая 2017 г. № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изменениями на 2 ноября 2018 г.). М., 2017. 224 с.

⁸ СП 71.13330.2017. Изоляционные и отделочные покрытия. Актуализированная редакция СНиП 3.04.01—87 (с Изменением № 1). М., 2017.

⁹ ГОСТ 16381—77. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования (с Изменением № 1). М. : Издательство стандартов, 1992. 7 с.

¹⁰ ГОСТ 17177—94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. М. : Издательство стандартов, 1996.

Таблица 3

Нумерация исследуемых образцов и содержание в них макулатуры

Образец №	Содержание макулатуры, %
1	35
2	50
3	70

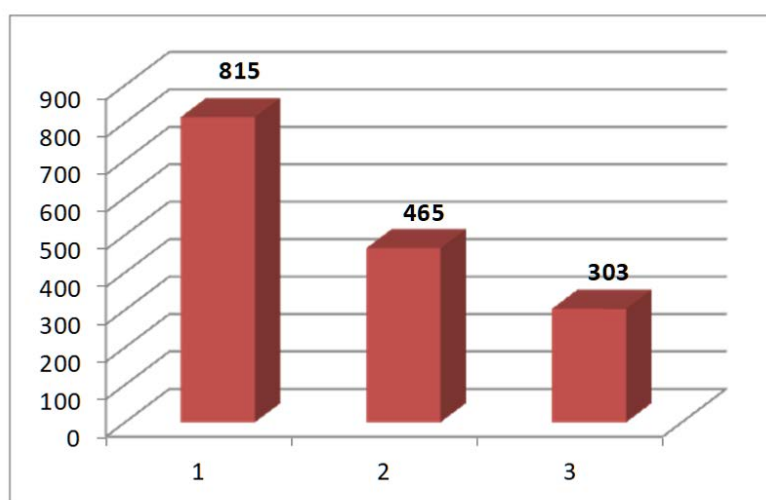


Рис. 6. Значения плотности образцов, кг/м³

Опытным путем определив плотность образцов, стало видно, что только образцы с содержанием макулатурной массы 50 % и более согласно ГОСТ 16381—77 являются теплоизоляционными изделиями. Образцы с содержанием данного компонента ниже 50 % относятся к строительным материалам.

Было проведено сравнение полученных образцов по ряду признаков согласно методам, регламентируемым ГОСТ 17177—94¹¹, что отражено в табл. 4.

К достоинствам полученных изделий относятся следующие:

- полученные образцы безопасны и экологичны;
- имеют хорошую формоустойчивость;
- все образцы являются негорючими;
- показатели водопоглощения нормативные (табл. 4).

Из трех опытных образцов теплоизоляционных изделий, изготовленных с добавлением заданных утильных компонентов (полимерные отходы, бумага, картон), наиболее оптимальным в отношении параметров качество — цена принимается образец второго состава с содержанием макулатуры 50 % и соответствующий нормативным параметрам. Образец 3 с содержанием макулатуры 70 % также соответствует критериям качества, однако он менее прочный ввиду более низкой плотности. Плотность образца 1 (35 % утильной бумаги и картона) не входит в регламентированный диапазон, но может применяться в строительстве, а не в теплоизоляции.

¹¹ Там же.

Т а б л и ц а 4

Сравнение полученных образцов по исследуемым признакам

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Содержание макулатуры, %	35	50	70
Формоустойчивость	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Соответствие значения плотности стандартам ¹²	Превышает	Соответствует	Соответствует
Правильность геометрической формы ¹³	Да	Да	Да
Водопоглощение, % ¹⁴	6	7	7
Горючесть (НГ; Г) ¹⁵	НГ	НГ	НГ
Предполагаемая себестоимость, руб.	196	190	182

Выбранный оптимальным состав изделия, представленный в табл. 5, обеспечивает прочность и позволяет снизить массовую нагрузку на фундамент и несущие элементы конструкций.

Т а б л и ц а 5

Оптимальный состав, предлагаемый авторами статьи

Сырье	В процентном отношении, %
Макулатура	50
Гипс	25
Вода	9
Полимерные отходы	8
Добавки технологические	8
Итого	100

Было проведено маркетинговое исследование рынка теплоизоляционных плитных изделий, в частности теплоизоляционная плита из вспененного полиизоцианурата реализуется по цене в среднем 240 руб. за изделие размерами 1500 × 600 мм. Полученное опытным путем изделие по оценке будет стоить ниже, что отражено в табл. 4. Производство таких плит экономически обосновано.

Заключение

После сравнения результатов, полученных опытным путем, можно сделать заключение о том, что полученные образцы теплоизоляционных изделий соответствуют требованиям государственных стандартов качества и могут быть рекомендованы к производству и использованию в строительстве.

¹² ГОСТ 16381—77. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования (с Изменением № 1). М. : Издательство стандартов, 1992. 7 с.;

ГОСТ 17177—94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. М. : Издательство стандартов, 1996.

¹³ Там же.

¹⁴ Там же.

¹⁵ ГОСТ 30244—94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. М. : Стандартинформ, 2008. 19 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ современного состояния производства теплоизоляционных материалов и возможности создания новых материалов на основе отходов деревообработки / Д. Ф. Зиятдинова, Р. Г. Сафин, Н. Ф. Тимербаев, Л. И. Левашко // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 18. С. 63—68.
2. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы на основе техногенного сырья / О. В. Пучка, С. В. Сергеев, С. С. Вайсера, Н. В. Калашников // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2013. № 2. С. 51—55.
3. Sampling and analysis of coarsely shredded mixed commercial waste. Part I: procedure, particle size and sorting analysis / K. Khodier, S. A. Viczek, A. Curtis, A. Aldrian etc. // Environmental Science and Technology. 2020. No. 17. Pp. 959—972.
4. Муратова А. А., Картушина Ю. Н. Анализ технологических решений по извлечению утильных компонентов из твердых коммунальных отходов, эффективных для Российской Федерации, в том числе Прикаспийского региона // Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона : материалы Международной науч.-практ. конф. Элиста, 2019. С. 506—510.
5. Сагдеева Г. С., Патракова Г. Р. Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 6. С. 194—198.
6. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением их во вторичный оборот / М. В. Кравцова, А. В. Васильев, А. В. Кравцов, Н. С. Носарев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 4—4. С. 804—809.
7. Ледницкий А. В., Куприян С. В. Экономическое обоснование использования отходов в полиграфическом производстве // Труды БГТУ. Сер. 5: Экономика и управление. 2016. № 7. С. 234—238.
8. Перспективы развития системы обращения с твердыми промышленными отходами / О. И. Сергиенко, А. И. Иванова, Е. С. Смазнова, И. А. Елистратова // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер.: Экономика и экологический менеджмент. 2017. № 4. С. 135—148.
9. Миронов П. В., Ермолина А. В. Теплоизоляционные материалы: поропласты на основе синтетического связующего и волокнистых продуктов переработки древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 24. С. 120—123.
10. Дьяченко О. С. Особенности строительства мотелей и доступного жилья в Украине по каркасной технологии домостроения ЛСТК // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2011. № 6—7. С. 65—70.
11. Данковцев В. Т., Окунев Ю. П. Сырьевая смесь «Эковата-2» : пат. № RU 2083524 C1, Рос. Федерации ; заявл. 25.09.1995 ; опубл. 10.07.1997.
12. Senez P., Milford A., Calder K. Case Study and Computational Modelling of the Impact of Fire Retardant on Fire Spread for Metal Building Insulation // Fire Technology. 2016. Vol. 52. Pp. 1983—2003.
13. Hyun-Jung Choi, Jae-Sik Kang, Jung-Ho Huh. A Study on Variation of Thermal Characteristics of Insulation Materials for Buildings According to Actual Long-Term Annual Aging Variation // Thermophysics. 2018. Vol. 39. No. 1.

© Муратова А. А., Картушина Ю. Н., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Муратова А. А., Картушина Ю. Н. Разработка состава теплоизоляционных изделий из макулатуры и полимерных отходов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 73—83.

Об авторах:

Муратова Анна Александровна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28; anna190297@hotmail.com

Картушина Юлия Николаевна — канд. геол.-минерал. наук, доцент, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28; kartysina@rambler.ru

Anna A. Muratova, Yuliya N. Kartushina

Volgograd State Technical University

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF THERMAL INSULATION PRODUCTS FROM WASTE PAPER AND POLYMER WASTE

The properties of samples of thermal insulation products made with the addition of waste paper and polymer waste were studied. The analysis of different formulations of samples for compliance with state standards for this type of building materials was carried out. The dependence of the product density on the content of waste paper was determined experimentally. Important quality indicators of the obtained thermal insulation products are investigated and the conclusion is made about their compliance with the standards. Therefore, this thermal insulation material can be recommended for use as an internal wall insulation material.

Key words: thermal insulation products, secondary material resources, wastepaper, polymer waste, density, thermal conductivity, building.

For citation:

Muratova A. A., Kartushina Yu. N. [Development of the composition of thermal insulation products from waste paper and polymer waste]. *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], 2020, iss. 3, pp. 73—83.

About authors:

Anna A. Muratova — Masters' Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; anna190297@hotmail.com

Yuliya N. Kartushina — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Docent of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; kartysina@rambler.ru

УДК 628.14

О. Н. Медведева, Т. Н. Сауткина

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель исследования — выявить причины коррозии трубопроводов и ее влияния на изменение качества воды, изучить фактические законы распределения параметров коррозии, разработать методы диагностики трубопроводов и оценки повышения их работоспособности с применением вероятностного подхода на основе теории риска. Основные результаты исследования состоят в разработке метода оценки эксплуатационного состояния трубопровода по риску обрастания и фактическому сроку службы. Результаты анализа экспериментальных исследований коррозии труб различного диаметра, выявляющие обрастание трубопроводов органическими и неорганическими веществами, позволяют установить, что величина коррозии (обрастания) труб подчиняется распределению Шарлье. Использование разработанной вероятностной модели позволяет оценить состояние трубопроводов в данный момент времени.

Ключевые слова: аварийность, водоснабжение, коррозия, биологические обрастания, трубопровод, распределение Шарлье, риск коррозии.

Введение

Современные системы водоснабжения представляют один из сложных элементов жизнеобеспечения населения. Исследования, проведенные при паспортизации и контроле качества воды, подаваемой потребителям, свидетельствуют, что существующая сеть трубопроводов не в полной мере отвечает предъявляемым к ней требованиям из-за высокого уровня аварийности, связанного с неудовлетворительным состоянием водопроводов. Анализ опыта эксплуатации водопроводных сетей показывает, что повышение уровня аварийности на сетях происходит по причине высокого уровня износа напорных трубопроводов, среди основных причин которого можно выделить биобрастания, а также наружную и внутреннюю коррозию [1—3].

На сегодняшний день актуальным вопросом остается обеспечение надежности и работоспособности трубопроводов, срок службы которых превышает нормативный. Их замена, производящаяся в некоторых случаях протяженными участками, требует значительных материальных и финансовых ресурсов. Однако из опыта работы предприятий жилищно-коммунального хозяйства следует, что в большинстве случаев не требуется полная замена водопроводов, достаточно ликвидировать локальные дефекты, не прибегая к сплошному вскрытию трассы.

Современные методы диагностики водопроводов позволяют оценить их состояние без проведения вскрышных работ и остановки эксплуатации системы.

В дополнение к существующим методам диагностики и обнаружения повреждений трубопроводов одним из путей решения проблемы предупреждения разрастания коррозионных участков может служить разработка вероятностного метода обследования трубопроводов для своевременного восстановления, реконструкции и модернизации систем водоснабжения [4].

Методика проведения обследования трубопроводов

В процессе работы для учета влияния коррозии на срок службы трубопроводов и принятия решений о реконструкции или замене поврежденных участков был изучен и проанализирован статистический материал по состоянию трубопроводов. На рисунке 1 показаны водопроводные трубы различных лет эксплуатации.



Рис. 1. Коррозия трубопроводов различных лет эксплуатации $d = 40$ мм:
 a — 10 лет; $б$ — 21 год

На основании собранных и обработанных статистических данных о внутренних обрастаниях трубопроводов можно получить закономерности изменения диаметра трубопровода, величин обрастания, оценить численно вероятность их появления и повторяемость.

Обработка статистических материалов методами математической статистики проводится с помощью построения графика функции распределения случайной величины — толщины обрастания трубопровода h . Понятие толщины обрастания показано на рис. 2.

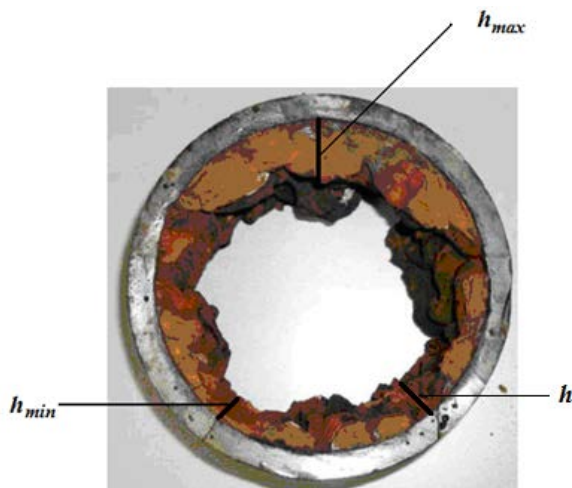


Рис. 2. К определению толщины обрастания трубопровода h

Для изучения закона распределения толщины обрастания трубопроводов необходимо выполнить экспериментальное измерение величины обрастания.

Для анализа обрастания внутренней поверхности водопроводных труб удобно использовать теоретико-вероятностные методы [5], поскольку существенным фактором, затрудняющим математическое описание данного процесса, является нерегулярный характер вследствие физических особенностей способов образования шероховатостей трубопроводов. Исследования показывают, что процессы обрастания внутренней поверхности водопроводных труб формируются под влиянием большого числа независимых и слабо зависимых друг от друга факторов (качество материала трубы, скорость течения воды, расход воды, pH, присутствие различных микроорганизмов, наличие в воде растворенного кислорода, диаметр трубы и др.). Каждый из перечисленных факторов вызывает количественные изменения толщины обрастания, но из-за отсутствия доминирующего фактора толщина обрастания является случайной величиной и соответствует (подчиняется) распределению вероятностей Шарлье.

Результаты исследований

В таблицах 1 и 2 представлены результаты статистической обработки значений величины обрастания водопроводов после 10 лет и 21 года эксплуатации.

На основе натурных данных были построены гистограммы распределения амплитуд неровностей, которые подтверждают, что модальные значения высот обрастания сдвинуты в область малых величин (рис. 3, 4).

По статистическим рядам (данные табл. 2) построены статистические (выборочные) функции распределения (рис. 5).

На рисунке 6 приведена сравнительная характеристика графиков зависимости величины обрастания трубопровода диаметром 32 миллиметра сроком службы 10 лет (нижняя кривая) и 21 год.

Таблица 1

Последовательность вычисления ординат статистической плотности и функции эмпирического распределения величин обрастания труб после 10 лет эксплуатации

Границы разрядов, мм	Интервал в разряде, d_i	Середина разряда, h_i	Частота, m_i	Частость, $P_i = \frac{m_i}{n}$	Ординаты эмпирической плотности $f(h_i) = \frac{m_i}{nd_i}$	Эмпирическая функция распределения $F(h_i) = \sum P_i$
0,00...0,05	0,05	0,025	19	0,19	3,8	0,19
0,05...0,10	0,05	0,075	28	0,28	5,6	0,47
0,10...0,15	0,05	0,125	18	0,18	3,6	0,65
0,15...0,20	0,05	0,175	15	0,15	3,0	0,80
0,20...0,25	0,05	0,225	11	0,11	2,2	0,91
0,25...0,30	0,05	0,275	6	0,06	1,2	0,97
0,30...0,35	0,05	0,325	2	0,02	0,4	0,99
0,35...0,40	0,05	0,375	1	0,01	0,2	1,00

Примечание: $n = 100$.

Т а б л и ц а 2

Последовательность вычисления ординат статистической плотности и функции эмпирического распределения величин обрастания труб после 21 года эксплуатации

Границы разрядов, мм	Интервал в разряде, d_i	Середина разряда, h_i	Частота, m_i	Частость, $P_i = \frac{m_i}{n}$	Ординаты эмпирической плотности $f(h_i) = \frac{m_i}{nd_i}$	Эмпирическая функция распределения $F(h_i) = \sum P_i$
0,0...0,3	0,3	0,13	23	0,23	0,77	0,23
0,3...0,6	0,3	0,45	40	0,40	1,33	0,63
0,6...0,9	0,3	0,75	17	0,17	0,56	0,80
0,9...1,2	0,3	1,05	10	0,10	0,33	0,90
1,2...1,5	0,3	1,35	4	0,04	0,13	0,94
1,5...1,8	0,3	1,65	3	0,03	0,10	0,97
1,8...2,1	0,3	1,95	2	0,02	0,07	0,99
2,1...2,4	0,3	2,25	1	0,01	0,03	1,00

Примечание: $n = 100$.

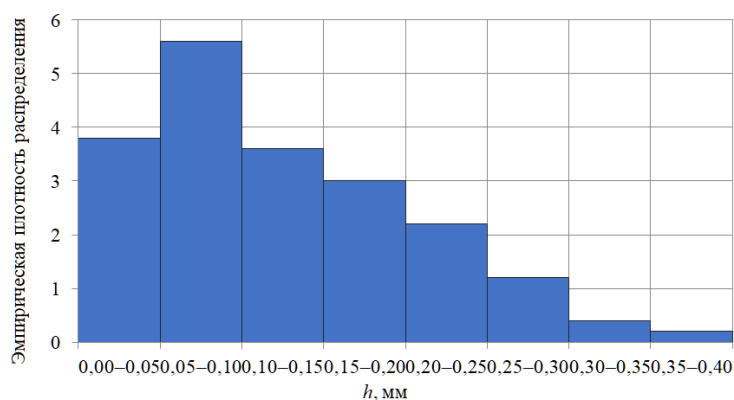


Рис. 3. Гистограмма распределения высот обрастания трубопроводов после 10 лет эксплуатации

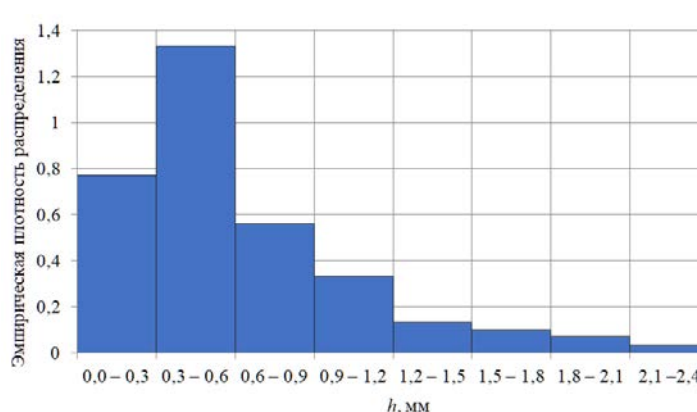


Рис. 4. Гистограмма распределения высот обрастания трубопроводов после 21 года эксплуатации

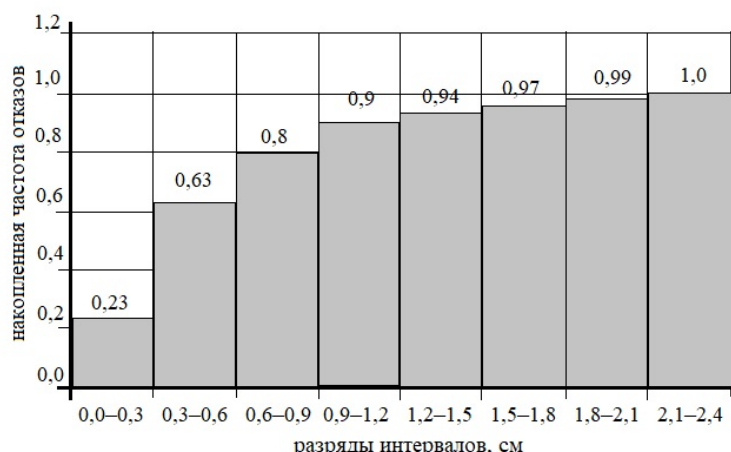


Рис. 5. Статистическая функция распределения (≥ 21 год эксплуатации)

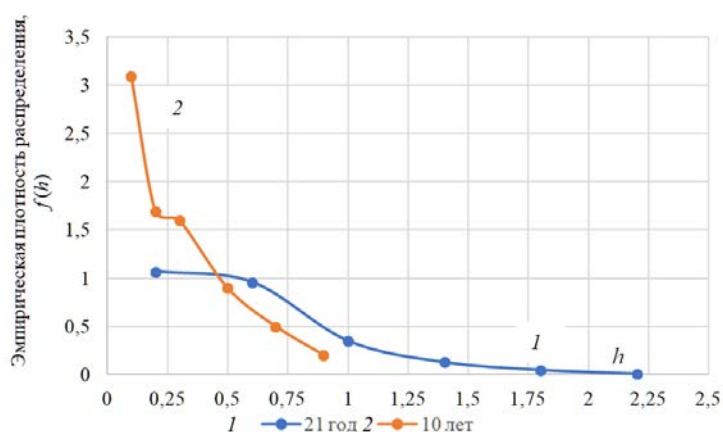


Рис. 6. Распределение величины обрастания трубопровода, $f(h)$ — эмпирическая плотность распределения

В таблице 3 приведен пример сравнения эмпирического распределения значений толщины обрастания трубопровода с теоретическим по критерию согласия Пирсона χ^2 .

Для определения величины обрастания трубопроводов предлагается использовать теорию риска [6].

Модель управления риском состоит из четырех этапов:

- 1) проводится сравнительная характеристика рисков для того, чтобы установить приоритет и степень обрастания трубопроводов;
- 2) устанавливается наличие и возможность регулирующих мер с целью уменьшения обрастаний трубопроводов;
- 3) выбираются меры, способствующие уменьшению или устранению риска;
- 4) принимают регулирующие решения — определение нормативных актов, постановлений, инструкций и их положений для реализации мер и создания единого процесса принятия решений.

Т а б л и ц а 3

*Сравнение эмпирического распределения величин
 обрастания в водопроводе с законом распределения Шарлье*

Разряды интервалов величин обрастания, мм	Абсолютная частота, m_i	Вероятность попадания измерений в разряд, P_i	Теоретическое количество измерений в разряде, $n_i = P_i n$	$\chi^2 = \frac{(h_m - n_i)^2}{n_i}$
0,0...0,3	23	0,1995	19,95	0,466
0,3...0,6	40	0,3238	32,38	1,793
0,6...0,9	17	0,2215	22,15	1,197
0,9...1,2	10	0,1268	12,68	0,566
1,2...1,5	4	0,0525	5,25	0,298
1,5...1,8	3	0,0208	2,08	0,407
1,8...2,1	2	0,0166	1,66	0,069
2,1...2,4	1	0,0079	0,79	0,056
> 2,4	0	0,0193	—	—

Примечание: $\sum \chi^2 = 4,852$.

Риск обрастания трубопровода во времени является качественной инженерной характеристикой конструкции. Метод определения риска коррозии трубопроводов разрабатывается на основе экспериментальных исследований, включающих установление фактических законов распределения величин обрастания (коррозии) трубопроводов, а также теоретических исследований, дающих расчетные зависимости.

Оценка риска коррозии трубопроводов, основанная на распределении вероятностей Шарлье, определяется по следующей формуле:

$$r = 0,5 - \Phi \left[\frac{h_{кр} - h_{ср}}{\sqrt{\sigma_{ср}^2 + \sigma_{кр}^2}} \right] - \frac{1}{6} C_s f^{(2)} \left[\frac{h_{кр} - h_{ср}}{\sqrt{\sigma_{ср}^2 + \sigma_{кр}^2}} \right] + \frac{1}{24} E_u f^{(3)} \left[\frac{h_{кр} - h_{ср}}{\sqrt{\sigma_{ср}^2 + \sigma_{кр}^2}} \right], \quad (1)$$

где C_s и E_u — коэффициенты асимметрии и эксцесс эмпирического распределения интервалов между величинами коррозии; $f^{(2)}$ и $f^{(3)}$ — вторая и третья производные нормального распределения; $h_{ср}$, $h_{кр}$ — средняя и критическая величины коррозии; $\sigma_{ср}$, $\sigma_{кр}$ — среднеквадратические отклонения;

$U = \left[\frac{h_{кр} - h_{ср}}{\sqrt{\sigma_{ср}^2 + \sigma_{кр}^2}} \right]$ — квантиль нормального распределения.

Значение критического обрастания находится из выражения:

$$h_{кр} = 2 \cdot h_{доп} - \frac{\sqrt{h_{доп}^2 + \left[25 \cdot (C_v^{h_{доп}})^2 - 1 \right] \cdot (h_{доп}^2 - 25 \cdot \sigma_{доп}^2)} - h_{доп}}{25 \cdot (C_v^{h_{доп}})^2 - 1}; \quad (2)$$

коэффициент вариации:

$$C_v^{h_{rh}} = C_v + \frac{h_{\text{доп}} + \alpha t}{d}, \quad (3)$$

где t — срок службы трубопровода; d — диаметр трубопровода; α — коэффициент, характеризующий скорость увеличения шероховатости; $h_{\text{доп}}$ — абсолютная шероховатость для сварных стальных труб в зависимости от времени эксплуатации.

В таблице 4 приведена статистическая обработка интервалов толщины обрастания труб после 21 года эксплуатации и показаны средние значения и квадратичные отклонения амплитуд обрастания.

Применяя к значениям табл. 4 метод суммирования, получим среднее значение высоты обрастания:

$$h_{\text{cp}} = U_k - d \left(\frac{M}{n} - 1 \right) = 2,25 - 0,3 \left(\frac{646}{100} - 1 \right) = 0,612 \text{ см.}$$

Среднее квадратичное отклонение полученных величин обрастания:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{d^2}{n-1} \left(2 \sum T - M - \frac{M^2}{n} \right)} = \sqrt{\frac{0,3^2}{100-1} \left(2 \cdot 2520 - 646 - \frac{646^2}{100} \right)} = 0,45 \text{ см.}$$

Применяя мультипликативный метод, среднее значение высоты обрастания:

$$h_{\text{cp}} = \chi_a + \frac{d}{n} \cdot B = 1,05 + \frac{0,3}{100} \cdot (-146) = 0,612 \text{ см.}$$

Среднее квадратичное отклонение полученных величин обрастания:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{d^2}{n-1} \left(A - \frac{B^2}{n} \right)} = \sqrt{\frac{0,3^2}{100-1} \left(434 - \frac{(-146)^2}{100} \right)} = 0,45 \text{ см.}$$

Коэффициент вариации равен 74 %.

Полученное при обследовании трубопроводов значение коэффициента вариации 74 % указывает на низкое качество транспортируемой воды, эксплуатации и состояния трубопроводов.

На рисунке 7 показано сравнение гистограммы величин обрастания трубопроводов с плотностью распределения Шарлье.

Исследования показывают, что параметры обрастания хорошо согласуются с законом распределения случайных величин Шарлье. Следовательно, для обработки статистических данных, а также для оценки риска толщины обрастания можно использовать распределение Шарлье.

Разработанная методика оценки риска позволяет увязать международную шкалу риска с величиной обрастания трубопровода (рис. 8).

Таблица 4

Контроль статистической обработки интервалов обрастания труб после 21 года эксплуатации

Разряды интервалов, см	Середина разряда, см	Абсолютная частота, m_i	Частичная сумма, S_m	Накопленная частота, T	Середина условного интервала ℓ_m	Произведения		
						$\ell_m m_i$	ℓ_m^2	$\ell_m^2 m_i$
0,0...0,3	0,15	23	23	23	-3	-69	9	207
0,3...0,6	0,45	40	63	86	-2	-80	4	160
0,6...0,9	0,75	17	80	166	-1	-17	1	17
0,9...1,2	1,05 = χ_a	10	90	256	0	0	0	0
1,2...1,5	1,35	4	94	350	1	4	1	4
1,5...1,8	1,65	3	97	447	2	6	4	12
1,8...2,1	1,95	2	99	546	3	6	9	18
2,1...2,4	2,25 = U_K	1	100	646	4	4	16	16
$d = 0,3$		$n = 100$	$M = 646$	$\Sigma T = 2520$		$B = -146$		$A = 434$

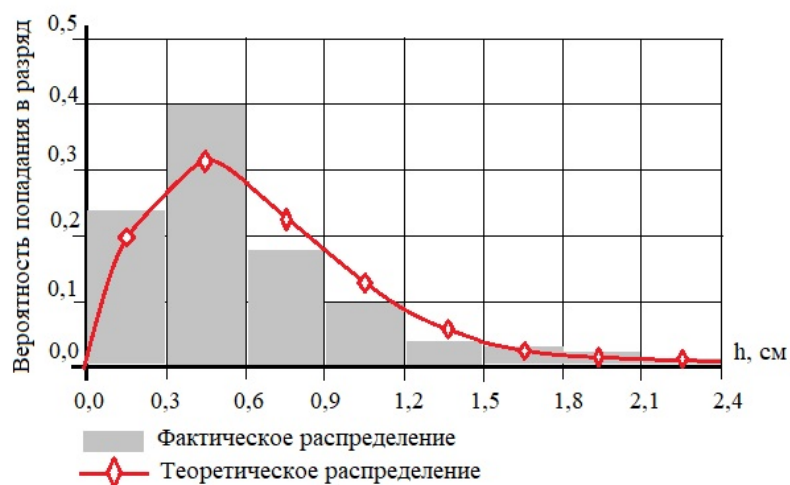


Рис. 7. Гистограмма величин обрастания и плотность распределения Шарлье (≥ 21 год эксплуатации)

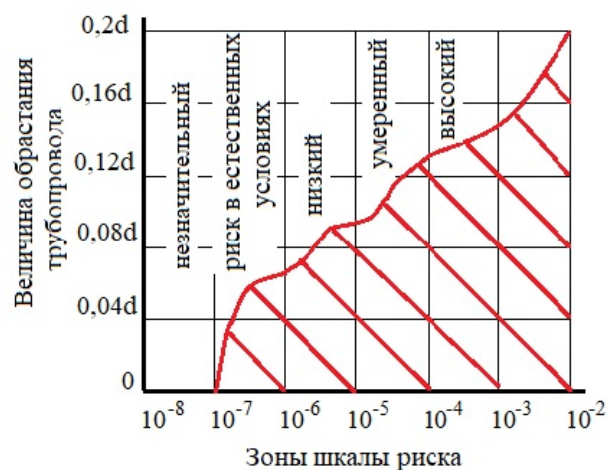


Рис. 8. Зависимость величины обрастания трубопровода от риска

Выводы

Ухудшение качества воды при загрязнении проявляется в следующем: изменяются физические свойства, прозрачность, возникают различные неприятные запахи и привкусы, изменяется химический состав, сокращается количество растворенного в воде кислорода, появляются бактерии, в том числе болезнетворные. Помимо этого, превышение, например, железа в воде более 0,3 мг/л (содержится в виде гидрокарбонатов, сульфатов, органических комплексных соединений, хлоридов) ухудшает ее вкус, окрашивает воду в красно-коричневый цвет, приводит к различным заболеваниям, вызывает развитие железобактерий и, как следствие, приводит к коррозии металла труб.

Обработка результатов экспериментальных исследований, представляющих исходные данные для математической модели риска величин обрастания трубопроводов, показывает, что коэффициенты вариации величин об-

растания (коррозии) изменяются в достаточно широких пределах и подчиняются закону распределения Шарлье.

Актуальность темы подтверждается многими специалистами в области оценки параметров конструктивной надежности длительно эксплуатирующихся трубопроводов как в нашей стране, так и за рубежом [1, 3, 7—11]. Как выяснилось в процессе многократного обследования, трубопроводы по разным причинам не отрабатывают нормативный срок службы. При существующих способах обследования трубопроводов не учитываются фактическая опасность обнаруженных дефектов и отклонения от норм эксплуатации для каждого конкретного трубопровода с учетом особенностей его эксплуатации. Поэтому прогноз состояния трубопроводов на любой период эксплуатации с учетом факторов, которые влияют на их работоспособность, позволит получить периоды времени до вложения средств в капитальный ремонт коррозионных участков трубопроводов [12—15]. Прогнозирование оценки работоспособности длительно работающих трубопроводов дает возможность установления сроков и необходимости проведения профилактических работ по прочистке трубопроводов или их замене.

Рекомендации производству

При эксплуатации трубопроводов водопроводной сети необходимо проводить ремонтные и восстановительные работы в следующие периоды:

- 1) $10^{-7} < r < 10^{-6}$ — проводить профилактические визуальные осмотры один раз за в год;
- 2) $10^{-6} < r < 10^{-5}$ — проводить визуальные осмотры; осмотры с применением толщиномеров, эндоскопов; устранять обнаруженные дефекты скребками, щетками, промывкой струей высокого давления;
- 3) $10^{-5} < r < 10^{-4}$ — проводить восстановительные работы, применять гидropневматический, гидродинамический и гидробародинамический методы прочистки трубопроводов; применять тампоны из полиэфирной пены; на трубопроводы, требующие ремонта, составлять дефектные ведомости для назначения срока проведения текущих ремонтов;
- 4) $10^{-4} < r$ — необходимо проводить замену трубопроводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терентьев В. И., Караван С. В., Павловец Н. М. Борьба с коррозией в системах водоснабжения. СПб. : Проспект Науки, 2007. 328 с.
2. Жук Н. П. Курс коррозии и защита металлов. М. : Металлургия, 1968. 251 с.
3. Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод. М. : Высшая школа, 1987. 479 с.
4. Сауткина Т. Н. Причины коррозии трубопроводов закрытой оросительной сети // Научная жизнь. 2013. № 1. С. 64—68.
5. Вероятностные методы в инженерных задачах / А. Н. Лебедев, М. С. Куприянов, Д. Д. Недосекин, Е. А. Чернявский. СПб. : Энергоатомиздат, 2000. 333 с.
6. Столяров В. В. Введение в теорию риска // Повышение эффективности эксплуатации транспорта : межвуз. науч. сб. Саратов : СГТУ, 2003. С. 118—139.
7. Kutylowska M. Forecasting failure rate of water pipes // Water Supply. 2018. Vol. 19. No. 1. Pp. 264—273. DOI: 10.2166/ws.2018.078.
8. Pipe Failure Prediction in Water Distribution Systems Considering Static and Dynamic Factors / R. Farmania, K. Kakoudakis, K. Behzadian, D. Butler // Procedia Engineering. 2017. Vol. 186. Pp. 117—126. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.217.
9. Septea E., Naumara A., Mohammeda A. H. A Review of Corrosion Assessment Model and Parameters of Drinking Water Distribution Pipelines // Technology. 2014. Vol. 69. No. 2. DOI: 10.11113/jt.v69.3113.

10. Pietrucha-Urbanik K., Tchórzewska-Cieślak B. Failure risk assessment in water network in terms of planning renewals — a case study of the exemplary water supply system // *Water Practice and Technology*. 2017. Vol. 12. No. 2. Pp. 274—286.

11. Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system / J. H. G. Vreeburg, D. Schippers, J. Q. J. C. Verberk, J. C. van Dijk // *Water Research*. 2008. Vol. 42. Pp. 4233—4242.

12. Медведева О. Н., Сауткина Т. Н. Методика оценки эксплуатационного состояния трубопроводов инженерных систем // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2019 : сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции*. Севастополь : СевГУ, 2019. С. 1452—1455.

13. Kutyłowska M. Modelling of Failure Rate of Water-pipe Networks // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2015. № 59(1). Pp. 37—43. DOI: 10.3311/PPci.7541.

14. Hotlos H. Quantitative assessment of the influence of water pressure on the reliability of water-pipe networks in service // *Environment Protection Engineering*. 2010. No. 36. Pp. 103—112.

15. Bogardi I., Fülöp R. A Spatial probabilistic model of pipeline failures // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2011. No. 55. Pp. 161—168. DOI: 10.3311/pp.ci.2011-2.08.

© Медведева О. Н., Сауткина Т. Н., 2020

Поступила в редакцию
в мае 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Медведева О. Н., Сауткина Т. Н. Использование вероятностного метода для прогноза состояния трубопроводов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 84—95.

Об авторах:

Медведева Оксана Николаевна — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; ORCID: 0000-0002-0861-0335, Scopus ID: 56754888500, medvedeva-on@mail.ru

Сауткина Татьяна Николаевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; Scopus ID: 57205290278, angelaanddiman@mail.ru

Oksana N. Medvedeva, Tatyana N. Sautkina

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

PROBABILISTIC METHOD FOR PREDICTING THE STATE OF PIPELINES

The purpose of the study — identify the causes of corrosion of pipelines and its effect on changes in water quality; to study the actual laws of the distribution of corrosion parameters; to develop methods for diagnostics and evaluating the improvement of pipelines performance using a probabilistic approach based on risk theory. The main results of the study consist in the development of a methodology for assessing the operational state of the pipeline for the risk of fouling and actual service life. Analysis of experimental studies of corrosion pipes of various diameters and different periods of operation showed that during operation, pipelines are covered organic and inorganic substances. It was found that the pipes corrosion process corresponds to the Charlier distribution. Using the developed probabilistic model allows us to assess the state of pipelines at a given point in time.

Key words: accident rate, water supply, corrosion, biological fouling, pipeline, Charlier distribution, risk of corrosion.

For citation:

Medvedeva O. N., Sautkina T. N. [Probabilistic method for predicting the state of pipelines]. *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], 2020, iss. 3, pp. 84—95.

About authors:

Oksana N. Medvedeva — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Professor of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Hydrodynamics Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politekhnikeskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0861-0335, Scopus ID: 56754888500, medvedeva-on@mail.ru

Tatyana N. Sautkina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Hydrodynamics Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politekhnikeskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation; Scopus ID: 57205290278, angelanddiman@mail.ru

УДК 628.16:658.345

**Р. В. Потоловский, А. Р. Ничипорова, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева,
Е. Л. Ханова, А. А. Геращенко**

Волгоградский государственный технический университет

СОБЛЮДЕНИЕ ПРАВИЛ ОХРАНЫ ТРУДА НА ОТДЕЛЕНИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ ЭКОЛОГИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Одной из основных проблем современного мира является загрязнение окружающей среды. Воздействие промышленных предприятий на городские территории достаточно высоко, поэтому соблюдение правил сброса веществ должно в полной мере соответствовать предельно допустимым нормам. Предприятия нефтяной промышленности и тепловых электростанций требуют особого внимания.

Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения принципиально отличается от других направлений химической технологии. Это связано с тем, что любые процессы водоподготовки протекают в больших объемах воды и с очень малым количеством растворенных веществ. Значительный объем воды, в свою очередь, требует применения крупногабаритного оборудования, а малое количество извлекаемых из воды веществ неизбежно приводит к использованию более тщательных методов очистки воды. В данной статье рассматриваются способы химической водоподготовки для перечисленных типов водопользования. Здесь также рассматриваются правила соблюдения норм охраны труда с целью сохранения экологического равновесия.

Высокие требования к качеству очищаемой воды различного назначения требуют высокоэффективных методов очистки воды. Современные технологии позволяют нам решить эту проблему. Являясь наиболее безопасными и экономичными с точки зрения охраны труда, в то же время не уступая традиционным методам, баромембранные методы нашли широкое применение в промышленности и пользуются популярностью в настоящее время.

В отделении химической очистки воды хранятся, используются, обрабатываются и транспортируются опасные химические вещества. Поэтому данный объект следует классифицировать как химически опасный. При аварии или разрушении здесь может произойти гибель или химическое поражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое загрязнение природной среды.

Следует заметить, что любой способ очистки имеет свои нюансы. Даже при безреагентной водоподготовке могут произойти различные процессы, приводящие к травмам, причинению вреда здоровью и прочим пагубным последствиям. Во избежание опасных и чрезвычайных для жизни и здоровья работников ситуаций требуется соблюдение основных правил охраны труда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вода, очистка, химическая подготовка, коррозия, водоподготовка, экологическая безопасность, безопасность, охрана труда, производство, загрязнение, защита.

Химическая очистка воды — это совокупность процессов очистки и обработки воды с целью получения качественных показателей, отвечающих требованиям потребителей. Химическая обработка воды применяется для умягчения воды и доведения ее до состояния, необходимого для конкретных условий использования. Она используется для снижения жесткости воды. Долгое время водоочистка не являлась отдельной отраслью химической технологии. Эмпирически найденные методы и способы очистки воды в основном противомикробные. Поэтому история водоподготовки — это история адаптации известных химических процессов и технологий, которые нашли или находят свое применение для очистки воды.

Состав природных вод крайне разнообразен и является сложной, постоянно изменяющейся системой. Примеси воды подразделяются на минеральные и органические, находящиеся в воде во взвешенном, коллоидном и истинно растворенном состоянии. Следовательно, водоподготовка не является характерным способом очистки для всех промышленных предприятий. Имея свои особенности и различия для отдельных отраслей промышленности, водоподготовка требует различных способов очистки и особенного применения для каждой сферы¹.

Очистка воды на тепловых электростанциях (ТЭС) имеет очень важную задачу, поскольку здесь нашли свое применение огромное количество энергоносителей в виде водяного пара и горячей воды. Примеси, попадающие в парогенератор, влекут за собой ряд нежелательных явлений, таких как пенообразование воды (органические примеси, аммиак, амины, некоторые органические примеси), образование отложений на поверхностях нагрева (железо, медь, фосфаты), удаление примесей путем пара и их осаждение в турбине (соли натрия, силикаты, хлориды), коррозия теплоэнергетического оборудования (кислород, кислоты, щелочи, диоксид углерода, Fe^{+3}).

Чаще всего реагентные методы применяются для удаления взвешенных веществ и коллоидных примесей на стадии очистки воды в тепловых электростанциях. Они основаны на использовании флокулянтов и коагулянтов различного происхождения. А для удаления истинно растворимых веществ нашли свое применение ионообменные методы — натрий, H-катион и анионирование на ионитах отечественного или зарубежного производства.

Данная схема очистки неразрывно связана с большим расходом коагулянта, реагентов для регенерации фильтров, воды для собственных нужд завода (рыхление, приготовление регенерационных растворов, промывка), катионита и анионита для заполнения фильтров. Помимо этого, сброс соленых сточных вод имеет большую плату. С целью большей экономической эффективности и качественной подготовки воды широкое распространение получили комбинированные схемы очистки воды, где первая стадия размягчения ионитов заменяется неактивными методами [1].

Как уже было сказано, подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения принципиально отличается от других направлений химической технологии. Это связано с тем, что любые процессы водоподготовки протекают в больших объемах воды и с очень малым количеством растворенных веществ. Значительный объем воды, в свою очередь, требует применения крупногабаритного оборудования, а малое количество извлекаемых из воды веществ неизбежно приводит к использованию «тонких» методов очистки воды.

После очистки в системах и на станциях обработки показатели должны удовлетворять такой степени частот, которая недоступна большинству химических продуктов. Например, нормативное требование — предельное содержание железа в питьевой воде и питательной воде энергетических объектов, равное 0,3 мг/л, означает чистоту 0,01 %.

¹ Охрана труда на теплоснабжающих предприятиях. URL: <https://trud.bobrodobro.ru/6903>.

В настоящее время активно изучаются и разрабатываются научные технологии водоподготовки, учитывающие особенности рассматриваемой отрасли. Химическая деминерализация является одной из самых распространенных технологий на сегодняшний день. Деминерализация требует ионообменного процесса, состоящего по меньшей мере из двух стадий. На первой существенной стадии катионы в обрабатываемой воде заменяются водородом путем пропускания воды через сильноокислую катионную смолу в форме водорода. Когда смола истощается до такой степени, что вода не обрабатывается до требуемого качества, ее необходимо регенерировать кислотой.

Первая стадия процесса деминерализации может быть усовершенствована для комбинирования использования как смолы SAC, так и смолы слабокислого катиона WAC. Последний расположен выше по течению. Это один из многих способов, с помощью которых можно варьировать эффективность этого процесса регенерации. Возвращаясь к свойствам мешковидных смол, этот процесс отличается от размягчения тем, что нет никаких преимуществ от изменения ионной концентрации при регенерации натрия. Ее особенность также заключается в использовании параллельных проточных ионообменных фильтров. Этот способ надежен для вод малой и средней минерализации ($[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]$ 5 мг-экв/дм³), а с повышенным содержанием органических соединений ($\text{Ок} > 20$ мгО/дм³) следует использовать метод термического обессоливания.

Противоточный Na-катионитный фильтр предполагает фильтрацию осветленной воды снизу-вверх с расходом от 170 до 585 м³/ч. Фильтр представляет собой двухкамерное устройство ($D = 3,8$ м) с тремя дренажными устройствами типа «ложное дно» и тысячей колпачковых элементов в каждом устройстве, охватывающих все поперечное сечение фильтра. Фильтр загружен катионитом С-100 (объем ионита — 30 м³: 10 внизу и 20 сверху) с плавающим слоем инерта [2].

Согласно лабораторным исследованиям, производство умягченной воды за цикл фильтрации составило 20 000 м³, по сравнению с 6000...8000 м³ на традиционных прямоточных фильтрах при равных условиях. Удельный расход соли снижается на 20 %, расход воды на собственные нужды Na-катионитного фильтра составил 1 % против 3...5 % по традиционной технологии. Противоточные технологии позволяют сократить количество необходимого оборудования для очистки воды; высокие обменные емкости ионитов; высокое качество фильтрата, которое обеспечивается при незначительных затратах реагентов на регенерацию — 1,8...2,2 г-экв/г-экв; уменьшить количество высокоминерализованных сточных вод.

Из-за отсутствия второй ступени и сложности определения момента выхода на регенерацию отключение противоточного фильтра часто осуществляется по количеству пропущенной воды со значительным запасом, что приводит к недогреву опресненной воды. Чем выше качество поступающей в фильтры воды, тем выше эффективность противотока. Эта проблема может быть решена при использовании малореагентных методов, а именно мембранных технологий.

Система доочистки может состоять из ионообменной ступени с раздельным Н- и ОН-ионированием (прямоточным или противоточным) или с фильтром смешанного действия (ФСД). Поскольку эта установка получает частично опресненную воду, ресурс фильтра значителен и достигает десятков

и сотен тысяч кубометров. Сравнение экономической эффективности опреснения воды методом ионного обмена и обратного осмоса показало, что при содержании солей более 150...300 мг/л обратный осмос является более экономичным даже по сравнению с противоточной ионизацией.

Неэффективная работа мембран происходит из-за несоблюдения стандартов качества воды. Для достижения требуемых значений следует применять ультрафильтрацию на стадии предварительной обработки, тем самым повышая производительность обратноосмотических мембран, снижая частоту химической промывки в несколько раз и уменьшая расходы коагулянта и возможности отказа от извести [3]. В таблице 1 приведены значения качества воды перед очисткой, а также их показатели в результате применения вышеупомянутой системы очистки [2].

Т а б л и ц а 1

Требуемые нормы качества воды и ее показатели после очистки

Показатель	Показатели качества воды установки УФ	
	исходная вода	фильтрат
Жесткость, мг-экв/л	0,7	0,7
Щелочность, мг-экв/л	0,6	0,012
Окисляемость, мгО ₂ /л	36,8	9,2
Концентрация Cl, мг/л	3,3	16
Содержание Fe ³⁺ (общее), мг/л	1,93	0,085
Содержание Al, мг/л	—	0,016
Цветность	> 80	25

Совместное применение ультрафильтрации и обратного осмоса позволяет создать малореагентную систему очистки воды для получения фильтрата с удельной электропроводностью на уровне 1...5 мкСм/см. В таких схемах дальнейшее повышение качества воды до нормативных значений обычно осуществляется ионообменным методом.

Низкий коэффициент использования исходной воды можно назвать основным недостатком всех мембранных систем. При применении комплексной установки вода может быть дополнительно очищена на аппарате электродеионизации. Электродеионизация (ЭДИ, EDI) — это процесс непрерывного опреснения воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля. При степени использования исходной воды 90...95 % очищенная вода имеет удельную электропроводность на уровне 0,1 мкСм/см, а также минимальное содержание кремния и общего органического углерода. При этом солесодержание концентрата обычно ниже солесодержания воды, подаваемой на установку обратного осмоса, поэтому он весь возвращается на вход этой установки для повторного использования [4].

Существующие недостатки химической водоподготовки решаются благодаря использованию вышеприведенных методов очистки. Постоянный рост водопотребления, повышения требований к качеству воды подтверждают актуальность данной проблемы. Виды водоподготовки для дальнейшего использования на промышленных предприятиях представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Способы водоподготовки и их преимущества

Способ очистки	Сущность метода очистки
Электродеионизация	Непрерывная деминерализация воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля
Электросорбция	Применение набора мембран для проведения электросорбции состоит из ряда сплюснутых мембранных мешков
Электроосмос	Движение жидкости через капилляры или поры диафрагмы под действием внешнего электрического поля
Электрофорез	Движение под действием внешнего электрического поля твердых частиц, пузырьков газа, капель жидкости, а также коллоидных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой или газообразной среде
Электродеионизация	Непрерывная деминерализация воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля

Большую угрозу окружающей среде представляют воды, загрязненные нефтепродуктами. Источником появления нефтепродуктов в сточных водах ТЭС являются мазутные хозяйства, основное здание, главный корпус, электротехническое оборудование (трансформаторы), вспомогательные службы (депо, склады, компрессоры).

Потери нефтепродуктов на тепловых электростанциях связаны с некачественным монтажом оборудования, а также с аварийными ситуациями. Основными источниками загрязнения воды маслами главного корпуса являются масляные системы турбин и подшипники вращающихся механизмов. Расход воды из главного здания может достигать десятков тонн в час при достаточно большом загрязнении.

Нефтедержащие воды ТЭС после соответствующей обработки попадают, как правило, в поверхностные водоемы. Концентрация нефтепродуктов в некоторых видах сточных вод может достигать 1000 мг/л, а в случае аварийных и залповых сбросов значительно выше. Их высокая летучесть при выпаривании является причиной загрязнения дистиллята, в котором содержание нефтепродуктов может достигать 10 мг/л (табл. 2). Глубина очистки воды от нефтепродуктов зависит от вида очистки или комплекса различных видов очистки, что, в свою очередь, зависит от вида и концентрации нефтепродуктов в воде.

Рекомендации по выбору процессов очистки нефтесодержащих сточных вод представлены в табл. 3.

Главное общее назначение водоподготовки для химической промышленности — оптимизация работы различных технологических процессов в производстве. Повышение качества воды, используемой на предприятии в технических целях, также играет важную роль. Химическая обработка воды чаще всего используется в системах охлаждения и отопления.

Рекомендации по выбору процессов очистки нефтесодержащих сточных вод

Наименование вещества	Концентрация, мг/л	Рекомендуемый процесс очистки	Эффект очистки
Нестабилизированные нефтепродукты (масла)	> 100	Отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Центробежная сепарация в гидроциклоне	Не менее 60 %
		Тонкослойное отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Осаждение с помощью коагуляции или эл	До 70 %
	20...100	Флотация с коагуляцией	До 80 %
		Электрокоагуляция-флотация	До 80 %
Слабостабилизированные нефтепродукты (масла)		Крупнозернистые фильтры с коагуляцией	До 90 %
		Тонкослойное отстаивание коагуляцией	До 60 %
	< 20	Фильтрование через зернистые загрузки	Эффективность очистки зависит от скорости фильтрования
		Фильтрование через зернистые загрузки с коагуляцией	Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде до 1 мг/л
	> 300	Отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Центробежное разделение в гидроциклоне	Не менее 60 %
Высокостабилизированные нефтепродукты (масла)	20...100	Тонкослойное отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Отстаивание с коагуляцией или электрокоагуляцией	До 60 %
		Флотация с коагуляцией	До 70 %
	20...100	Электрокоагуляция-флотация	До 70 %
		Крупнозернистые фильтры с коагуляцией	До 80 %
	< 20	Тонкослойное отстаивание коагуляцией	До 70 %
Растворенные нефтепродукты (масла)	> 1000	Фильтрование через зернистые загрузки с коагуляцией	Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде до 3 мг/л
		Отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Центробежное разделение в гидроциклоне	Не менее 60 %
	300...1000	Отстаивание в нефтеловушках с предварительной дестабилизацией	Эффективность очистки зависит от продолжительности отстаивания
		Флотация с коагуляцией с предварительной дестабилизацией	До 70 %
	20...300	Флотация с коагуляцией с предварительной дестабилизацией	До 60 %
Растворенные нефтепродукты (масла)		Электрокоагуляция-флотация с предварительной дестабилизацией	До 70 %
	< 20	Фильтрование через зернистые загрузки с коагуляцией с предварительной дестабилизацией	Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде до 10 мг/л
		Адсорбция	Эффект очистки зависит от режима процесса
		Обратный осмос	
		Окисление	

Химическая обработка рециркулирующих систем охлаждающей воды используется для минимизации коррозии, накипи и загрязнения. Коррозия может привести к выходу из строя критических частей котельных систем, осаждению продуктов коррозии в критических зонах теплообмена и общей потере КПД. Программы очистки настраиваются для каждой системы в зависимости от качества подпиточной воды и конфигурации системы. Для контроля качества циркулирующей воды используется комбинация ингибиторов, диспергаторов и биоцидов.

Именно поэтому часто применяются ингибиторы коррозии. Ингибиторы — это химические вещества, которые вступают в реакцию с металлической поверхностью, придавая поверхности определенный уровень защиты. Ингибиторы часто работают, адсорбируясь на металлической поверхности, защищая металлическую поверхность, образуя пленку.

Существует пять различных видов ингибиторов коррозии:

1. Ингибиторы пассивности (пассиваторы). Они вызывают сдвиг потенциала коррозии, заставляя металлическую поверхность переходить в пассивный диапазон. Примерами ингибиторов пассивности являются окисляющие анионы, такие как хроматы, нитриты и нитраты, а также неокисляющие ионы, такие как фосфат и молибдат. Эти ингибиторы являются наиболее эффективными и, следовательно, наиболее широко используемыми.

2. Катодные ингибиторы. Некоторые катодные ингибиторы, такие как соединения мышьяка и сурьмы, работают, затрудняя рекомбинацию и выделение водорода. Другие катодные ингибиторы, такие как кальций, цинк или магний, могут осаждаться в виде оксидов с образованием защитного слоя на металле.

3. Органические ингибиторы. Они воздействуют на всю поверхность корродирующего металла, когда присутствуют в определенной концентрации. Органические ингибиторы защищают металл, образуя гидрофобную пленку на поверхности металла. Органические ингибиторы будут адсорбироваться в соответствии с ионным зарядом ингибитора и зарядом на поверхности.

4. Осаждение ингибиторов индукции. Это соединения, которые вызывают образование осадка на поверхности металла, тем самым обеспечивая защитную пленку. Наиболее распространенными ингибиторами этой категории являются силикаты и фосфаты.

5. Летучие ингибиторы коррозии (VCI). Это соединения, транспортируемые в замкнутой среде к месту коррозии путем испарения из источника. Примерами могут служить морфолин и гидразин, а также летучие твердые вещества, такие как соли дициклогексиламина, циклогексиламина и гексаметиленамины. При контакте с поверхностью металла пары этих солей конденсируются и гидролизуются влагой, высвобождая защитные ионы.

Ингибиторы коррозии и накипеобразования используются в качестве реагентов для подготовки котловой воды и вышеперечисленных систем. Процесс умягчения воды создает среду, благоприятную для образования коррозии. Во избежание этого поверхность следует обрабатывать ингибиторами коррозии в конце процесса размягчения. Эти вещества помогают уменьшить образование коррозии. Широкое применение нашли деоксиданты, ингибиторы коррозии для пароконденсата, промывочные реагенты, а также специальные реагенты для консервации систем отопления. Такие процессы при несо-

блюдении всех норм безопасности могут привести к различным негативным последствиям².

Решить данную проблему можно при использовании баромембранных методов. Данная технология позволяет образовывать большие объемы концентрата, обладающего высокой жесткостью и содержащего реагенты для предотвращения осадкообразования на мембранах. Когда гидравлический КПД установок обратного осмоса составляет 60...70 %, расход концентрата составляет 40...30 %, что приводит к увеличению стоимости очищенной воды [4].

Электрический ток, преобразовывающий электрическую энергию в энергию химических реакций, является существенным резервом. На сегодняшний день данный метод является эффективным и прогрессивным в технологии очистки воды. Установки достаточно компактны, высокопроизводительны, процессы управления и эксплуатации относительно просто автоматизируются. Кроме того, электрообработка позволяет успешно очищать воды от ряда примесей различного состава и дисперсности [5].

В отделении химической очистки воды хранятся, используются, обрабатываются и транспортируются опасные химические вещества. Поэтому данный объект следует классифицировать как химически опасный. При аварии или разрушении здесь может произойти гибель или химическое поражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое загрязнение природной среды.

В процессе производства, эксплуатации производственных объектов, транспортировки, переработки и хранения объектов могут возникать аварии. Некоторые из них сопровождаются выделением опасных химических веществ [6—8].

Современные методы водоподготовки являются наиболее безопасными и экономичными, при этом не уступая традиционным методам. Повышения качества обеспечения безопасности на предприятии и охраны труда несложно добиться при использовании новых технологий. Среди таких новых способов можно выделить мембранные (безреагентные), которые условно делятся на баромембранные (ультра-, микро-, нанофильтрация и обратный осмос) и электрохимические. Этот интерес обусловлен как экономическими, так и эксплуатационными преимуществами новых технологий перед традиционными.

Лидерство барометрического метода в опреснении больших объемов воды централизованным способом не вызывает сомнений. Недавно освоенная технология обратного осмоса в настоящее время приобрела популярность на уровне массового применения в производственных процессах, особенно при очистке воды. Кроме того, производительность последнего снижается на 95...97 % за счет загрязнения поверхности мембраны и 3...5 % уплотнения полимерного материала мембран в результате длительного воздействия высокого давления.

Для предотвращения отложения кристаллических загрязнений и удаления коллоидной пленки с поверхности мембраны проводят профилактическую регенерационную промывку контура мембраны такими химическими веществами, как антискалант, коагулянт, хлор или восстановителями (напри-

² Охрана труда на теплоснабжающих предприятиях. URL: <https://trud.bobrodobro.ru/6903>.

мер, метабисульфитом натрия), которые могут самостоятельно стать источниками загрязнения [5, 9—11].

Следует заметить, что любой способ очистки имеет свои нюансы. Даже при безреагентной водоподготовке могут произойти различные процессы, приводящие к травмам, причинению вреда здоровью и прочим пагубным последствиям. Во избежание опасных и чрезвычайных для жизни и здоровья работников ситуаций требуется соблюдение основных правил охраны труда³.

Уровень профессиональных заболеваний и травм остается недопустимо высоким [12], а большинство профессиональных заболеваний и несчастных случаев без летального исхода не регистрируются [13]. Такая ситуация свидетельствует о том, что факторы производственной среды могут быть вредными и опасными.

Оборудование химической водоподготовки должно иметь расположение, обеспечивающее свободный доступ к аппаратам и удобную эксплуатацию [14].

Для обеспечения наиболее безопасного обслуживания оборудования были разработаны специальные инструкции. Они предоставляют собой информацию о запуске, остановке и эксплуатации оборудования. Здесь также приведены положения по технике безопасности, режиму работы и параметрам агрегата, а также краткая информация о ремонте.

Работники, обслуживающие оборудование, в обязательном порядке должны соблюдать меры безопасности, указанные в правилах. Требования безопасности при эксплуатации оборудования должны соответствовать разделу 5⁴.

Запрещено вводить в эксплуатацию оборудование, не имеющее заземления и со снятыми вращающимися частями, во избежание поражения электрическим током и получения травм.

Помещения химической водоподготовки следует оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением. Правильная и систематическая эксплуатация вентиляционных установок обеспечит бесперебойную и эффективную работу.

Рабочее место освещается рассеянным светом. В помещениях должно быть предусмотрено дополнительное аварийное освещение рабочих мест от автономного источника питания.

При техническом обслуживании оборудования работник обязан использовать защитную одежду, соблюдать личную безопасность и быть осторожным при работе со стеклянными приборами и химической посудой. При проведении анализов, приготовлении растворов реагентов необходимо использовать средства индивидуальной защиты⁵.

Соблюдение требований безопасности является обязательным при эксплуатации коммунального водопроводно-канализационного хозяйства.

³ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 16 декабря 2019 г.).

⁴ Правила по охране труда при эксплуатации коммунального водопроводно-канализационного хозяйства от 22 сентября 1998 г. № 93.

⁵ Охрана труда на теплоснабжающих предприятиях. URL: <https://trud.bobrodobro.ru/6903>.

Правила, не предусмотренные данным нормативным документом, требуют соблюдения определенных государственных стандартов или инструкций органов государственного надзора⁶.

Ответственность за охрану труда в отделах химической водоподготовки должен нести руководитель. Он, а также специалисты водопроводно-канализационного хозяйства должны пройти обучение и проверку знаний по трудовому законодательству и охране труда.

Инструкции выдаются работникам на руки под расписку в личной карточке инструктажа, должны быть вывешены на рабочих местах или участках либо храниться в месте, доступном для работников.

Изучение инструкций для работников обеспечивается работодателем. Требования инструкций являются обязательными для сотрудников. Несоблюдение этих требований должно рассматриваться как нарушение трудовой дисциплины. Обеспечить соблюдение основных пунктов правил по охране труда на производственных объектах, предусмотренных пунктом 1.1.9⁷, обязан работодатель.

Одной из основных проблем современного мира является загрязнение окружающей среды. Воздействие промышленных предприятий на городские территории достаточно высоко, поэтому соблюдение правил сброса веществ должно в полной мере соответствовать предельно допустимым нормам. Предприятия нефтяной промышленности и тепловых электростанций требуют особого внимания.

Применение новейших технологий водоподготовки, а именно баромембранного метода, позволяет получать наиболее высокий эффект очистки. Являясь современным и перспективным, данный метод также представляет собой качественный и экологически безопасный процесс умягчения воды, при этом являющимся одним из вариантов совершенствования охраны труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водоподготовка : справочник / под ред. С. Е. Беликова. М. : Аква-Терм, 2007. 240 с.
2. Бушуев Е. Н., Еремина Н. А., Жадан А. В. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. № 1. С. 8—14.
3. Повышение эффективности реагентной предварительной очистки воды на Казанской ТЭЦ-3 / Н. Д. Чичирова, А. А. Чичиров, А. Г. Филимонов, А. А. Елисеев // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 11—12. С. 53—60.
4. Чичирова Н. Д., Власов С. М. Баромембранные технологии в энергетике : монография. Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. 272 с.
5. Лаптев А. Г., Сергеева Е. С. Водоподготовка и водоочистка в энергетике // Вода: химия и экология. 2011. № 3. С. 33—40.
6. Мاستрюк Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебник для студентов высших учебных заведений. М. : Академия, 2003. 336 с.
7. Yang J., Wang S., Lu Zh., Lou Sh. Converter slag-coal cinder columns for the removal of phosphorus and other pollutants // Hazardous materials. 2009. Vol. 168. Iss. 1. Pp. 331—337.
8. Radjenovic A. Removal of Ni (II) from Aqueous Solution by Low-Cost Adsorbents // The Holistic Approach to Environment. 2011. Vol. 3. Iss. 1. Pp. 109—120.

⁶ Приложение 1. Перечень основных правовых, нормативных актов, использованных при разработке настоящих Правил. Законодательные акты, указы президента, постановления правительства. Правила по охране труда при эксплуатации коммунального водопроводно-канализационного хозяйства от 22 сентября 1998 г. № 93.

⁷ Правила по охране труда при эксплуатации коммунального водопроводно-канализационного хозяйства от 22 сентября 1998 г. № 93.

9. Malik A. Metal bioremediation through growing cells // Environ. Int. 2004. Vol. 30. Iss. 2. Pp. 261—278.

10. Ahalya N., Ramachandra T. V., Kanamadi R. D. Biosorption of Heavy Metals // Res. J. Chem. Environ. 2003. Vol. 7. Iss. 4. Pp. 71—79.

11. Wirojanagud W., Tantemsapya N., Tantriratna P. Precipitation of heavy metals by lime mud waste of pulp and paper mill // Songklanakarin J. Sci. Technol. 2004. Vol. 26. Iss. 1. Pp. 45—53.

12. Измеров Н., Федотов И. Охрана труда в Российской Федерации: Закон и практика // Энциклопедия по безопасности и гигиене труда : в 4 т. / гл. ред. Michel Hansenne. 4 изд. Женева, Москва : Международная организация труда, Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации, 1998. Т. 1. Раздел II. Охрана здоровья. Глава 16. Служба гигиены труда. С. 528—542.

13. Измеров Н. Ф., Кириллов В. Ф. Гигиена труда. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. С. 13—14. 592 с.

14. Петров С. В. Оборудование для водоподготовки и очистки сточных вод НПП Биотехпрогресс // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 5. С. 17—20.

© Потоловский Р. В., Ничипорова А. Р., Сахарова А. А., Москвичева Е. В.,
Ханова Е. Л., Геращенко А. А., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Соблюдение правил охраны труда на отделениях химической водоподготовки с целью сохранения экологии городских территорий / Р. В. Потоловский, А. Р. Ничипорова, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, Е. Л. Ханова, А. А. Геращенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 96—107.

Об авторах:

Потоловский Роман Валерьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; potolovskii@ro.ru

Ничипорова Анастасия Романовна — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; liska1988nastya@yandex.ru

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

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57217192816, viv_vgasu@mail.ru

Ханова Елена Леонидовна — старший преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; el-khanova@mail.ru

Геращенко Алла Анатольевна — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 55641192100, viv_vgasu@mail.ru

**Roman V. Potolovskii, Anastasiya R. Nichiporova, Anastasiya A. Sakharova,
Elena V. Moskvicheva, Elena L. Khanova, Alla A. Gerashchenko**

Volgograd State Technical University

COMPLIANCE WITH THE RULES OF LABOR PROTECTION AT CHEMICAL WATER TREATMENT DEPARTMENTS IN ORDER TO PRESERVE THE ECOLOGY OF URBAN AREAS

One of the main problems of the modern world is environmental pollution. The impact of industrial enterprises on urban areas is quite high, so compliance with the rules for dumping substances must fully comply with the maximum permissible standards. Enterprises of the oil industry and thermal power plants require special attention.

Preparation of water for drinking and industrial water supply is fundamentally different from other areas of chemical technology. This is due to the fact that any water treatment processes take place in large volumes of water and with very small amounts of dissolved substances. A significant volume of water, in turn, requires the use of large-sized equipment, and a small amount of substances extracted from water inevitably leads to the use of more thorough methods of water purification. This article discusses methods of chemical water treatment for these types of water use. It also discusses the rules for compliance with labor protection standards in order to preserve environmental balance.

High requirements for the quality of treated water for various purposes require highly effective methods of water purification. Modern technologies allow us to solve this problem. Being the safest, from the point of view of labor protection, and economical, at the same time, not inferior to traditional methods, baromembrane methods are widely used in industry and are popular at present.

In the Department of chemical purification of water is stored, used, processed, and transported hazardous chemicals. Therefore, this object should be classified as a chemical hazard. In the event of an accident or destruction, people, farm animals and plants may die or suffer chemical damage, as well as chemical pollution of the natural environment.

It should be noted that any method of cleaning has its own nuances. Even when water treatment is carried out without reagent, various processes can occur that lead to injuries, harm to health, and other harmful consequences. In order to avoid dangerous and emergency situations for the life and health of employees, it is necessary to comply with the basic rules of labor Protection.

Key words: water, purification, chemical preparation, corrosion, water treatment, environmental safety, safety, labor protection, production, pollution, protection.

For citation:

Potolovskii R. V., Nichiporova A. R., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Khanova E. L., Gerashchenko A. A. [Compliance with the rules of labor protection at chemical water treatment departments in order to preserve the ecology of urban areas]. *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], 2020, iss. 3, pp. 96—107.

About authors:

Roman V. Potolovskii — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; potolovski@ro.ru

Anastasiya R. Nichiporova — Master's Degree student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; liska1988nastya@yandex.ru

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

Elena V. Moskvicheva — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57217192816, viv_vgasu@mail.ru

Elena L. Khanova — Senior Lecturer of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; el-khanova@mail.ru

Alla A. Gerashchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 55641192100, viv_vgasu@mail.ru

УДК 69.331.438

В. А. Сенченко^а, И. Л. Скрипник^б, С. Л. Пушенко^в, Е. В. Стасева^г, Т. Т. Каверзнева^з

^а *Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком»*

^б *Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России*

^в *Донской государственный технический университет*

^з *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВЫСОТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЕСТНИЦ

Работы на высоте являются работами повышенной опасности. Наиболее распространенными являются строительные работы на высоте с использованием лестниц. Статистика травматизма в Российской Федерации говорит о том, что доля травматизма при работе на высоте составляет около 25 % травм от общего их количества. Падения с лестницы являются второй по значимости причиной несчастных случаев на производстве и в строительной отрасли России и США. Значительная часть этих инцидентов происходит на строительных площадках и в процессе эксплуатации при использовании лестниц-удлинителей. Травматизм от падения с высоты, в том числе с лестницы, как правило, тяжелый. Около 70 % случаев травматизма с серьезными последствиями при использовании лестниц происходят с переносными лестницами, а наиболее частой причиной падения и травматизма является то, что лестницы скользят под пользователем. В статье представлены особенности организации и ведения строительных работ на высоте с использованием лестниц. Рассмотрены и систематизированы инженерные решения, направленные на исключение соскальзывания верхней части лестницы в процессе работы на опоре. Проведена оценка инженерных решений при различных вариантах их применения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: строительство, работы на высоте, опора, лестница, сдвиг лестницы, соскальзывание лестницы, падение с лестницы, прямая лестница, сила сцепления насадка — опора.

Введение

Работы на высоте являются работами повышенной опасности. Наиболее распространенными в производственной и хозяйственной деятельности работы на высоте проводятся с использованием лестниц. Статистика травматизма в Российской Федерации говорит о том, что доля травматизма при работе на высоте составляет около 25 % травм от общего их количества [1]. Велика доля травм и в быту от падения с высоты. Падения с лестницы являются второй по значимости причиной несчастных случаев на производстве в строительной отрасли США. Значительная часть этих инцидентов происходит на строительных площадках и в процессе эксплуатации при использовании лестниц-удлинителей [2, 3].

Анализ результатов многочисленных исследований показал, что травматизм от падения с высоты, в том числе с лестницы, как правило, тяжелый и смертельный [3—5]. Около 70 % серьезных травм при выполнении работ на высоте происходят с переносными лестницами, и наиболее частой причиной падения является то, что лестницы скользят под пользователем [4, 6].

Необходимо исправить данную ситуацию путем применения различных технических средств безопасности, направленных против соскальзывания лестниц [4—7].

Постановка задачи

При падении с лестниц высока доля влияния человеческого фактора. Поэтому технические меры безопасности при выполнении работ на высоте с лестниц являются по своей сути объектом повышенного внимания в рамках системы управления профессиональными рисками. Меры безопасности, которые исключают человеческий фактор, являются приоритетными.

Конструкция приставных лестниц и стремянок должна исключать возможность сдвига и опрокидывания их при работе. На нижних концах приставных лестниц и стремянок должны быть оковки с острыми наконечниками для установки на земле. При использовании лестниц и стремянок на гладких опорных поверхностях (паркет, металл, плитка, бетон) на нижних концах должны быть надеты башмаки из резины или другого нескользкого материала. При установке приставной лестницы в условиях, когда возможно смещение ее верхнего конца, последний необходимо надежно закрепить за устойчивые конструкции.

При выполнении работ с лестниц на опорах воздушных линиях связи и воздушных линий электропередач (далее ВЛС и ВЛЭ) верхняя часть лестницы — тетива — упирается в опору. Так как опора ВЛС и ВЛЭ либо круглого сечения, либо трапецидальной, то при установке лестницы имеется малая площадь сцепления и она имеет малую степень устойчивости.

Технические средства, обеспечивающие безопасность работ, устанавливаемые на нижние концы лестницы (металлические оковки и башмаки из нескользкого материала), достаточно широко представлены. А вот насадок на верхнюю часть лестницы при выполнении работ на опоре в серийном производстве очень мало.

Основная задача проводимого исследования — анализ и оценка технических средств безопасности с целью повышения безопасности работ на высоте в строительстве и при использовании приставных лестниц для подъема на опоры ВЛС и ВЛЭ.

Аналитическая часть

Толковый словарь Т. Ф. Ефремовой содержит в себе определение лестницы. Лестница (ж) — сооружение в виде ряда ступеней или переключков для подъема и спуска.

ГОСТ Р 58752—2019 «Средства подмащивания. Общие технические условия» дает следующее определение лестницы — конструкция, предназначенная для доступа рабочих в зону выполнения работ на высоте и создания кратковременных рабочих мест.

Приставная лестница состоит из тетивы 1 и ступеней 2 (рис. 1).

При выполнении работ на высоте с лестниц на опорах ВЛС и ВЛЭ имеется техническая особенность, которая влияет на безопасность таких работ. Деревянные опоры воздушных линий связи и высоковольтно-сигнальных линий имеют диаметр в вершине (верхнем отрубе) от 12 до 25 см. Железобетонные опоры имеют трапецидальную форму. Металлические опоры имеют круглую или многогранную форму (далее — опора).

При установке лестницы к опоре она нижней частью упирается в землю или пол концами тетивы, верхней частью ступенькой к опоре. Для того чтобы лестница была устойчива, внизу применяются различные средства против сдвига: металлические наконечники, если лестница устанавливается на зем-

лю; резиновые противоскользящие насадки для керамических и бетонных оснований (рис. 1, п. 3). Вверху применяются насадки против сдвигания лестницы. Все эти средства направлены против бокового смещения и скольжения лестницы, которые являются наиболее частой причиной падения работника с лестницы [4].

Так как поверхность опор круглая или трапецидальная, то плоскость сцепления опоры с лестницей в большинстве случаев — это точка соприкосновения со ступеней (рис. 1, п. 4). При установке лестницы к опоре имеется малая площадь сцепления. Соприкосновение происходит в месте касания. При подъеме человека нагрузка на опору имеет направление N (рис. 1, N). В случае перераспределения нагрузки в одну из сторон F_1 или F_2 — лестница потеряет равновесие. Чтобы равновесие не потерялось, необходимо, чтобы при подъеме по лестнице нагрузка распределялась в направлении N . Другой способ увеличить устойчивость лестницы — это держать ее с двух сторон снизу. Но данный способ имеет ряд недостатков: 1) человеческий фактор, который сработает в самый неподходящий момент; 2) не всегда это возможно.

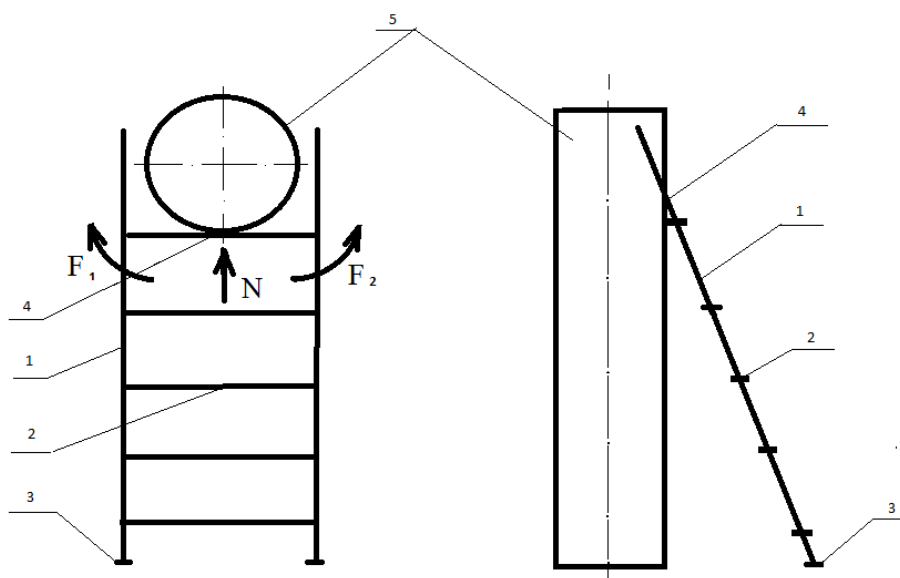


Рис. 1. Схема установки лестницы к опоре: 1 — тетива; 2 — ступени; 3 — резиновые насадки; 4 — точка соприкосновения лестницы с опорой; 5 — опора

Одним из способов увеличения устойчивости верхней части лестницы является применение насадок на ее верхней край. В зависимости от способа сцепления с опорой, возможности регулировки площади сцепления, а также наличия встроенных систем безопасности используют различные типы насадок.

В Российской Федерации, Германии и многих других странах в коммерческом плане наиболее распространена насадка для опоры на столб или мачту KRAUSE (рис. 2). На рисунке 3 изображена насадка в рабочем положении. Насадка для опоры на столб или мачту KRAUSE предназначена для крепления лестниц с перекладинами к столбам диаметром 100...250 мм, может быть использована на лестницах с внутренней шириной 300...400 мм.

Помимо насадки для опоры на столб — мачту KRAUSE имеются и другие, которые не распространены в коммерческом плане, но в определенных случаях имеют преимущества.

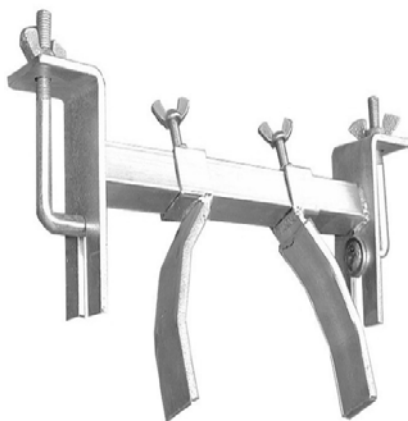


Рис. 2. Насадка для опоры на столб — мачту KRAUSE¹



Рис. 3. Насадка для опоры на столб — мачту KRAUSE в рабочем положении (установлена на лестницу и упирается в металлический столб)*

Ниже мы рассмотрим имеющиеся насадки на лестницу, их сущность, преимущества и недостатки при выполнении работ на опоре.

На рисунке 4 изображена насадка на лестницу с анкерной точкой [7].

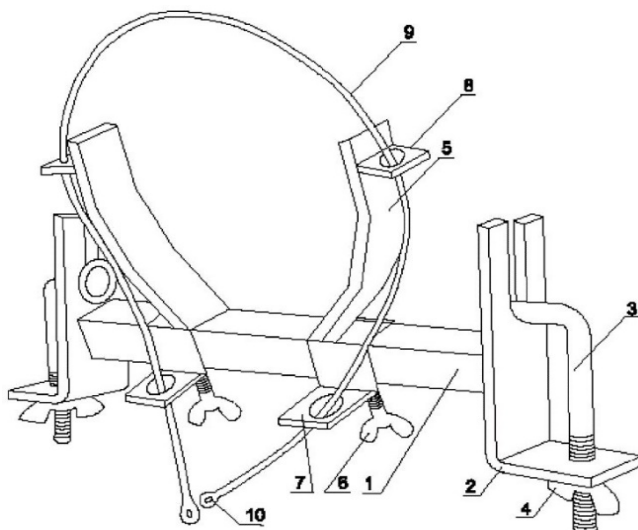


Рис. 4. Насадка на лестницу с анкерной точкой

¹ Интернет-магазин лестниц KRAUSE в разделе «Принадлежности, наконечники на опоры и запасные части». URL: <http://krause-shop.ru/product/nasadka-dlja-opory-na-stolbmachtu-krause-122452>.

Устройство работает следующим образом. Насадка на лестницу с анкерной точкой устанавливается на верхний край лестницы. С помощью Г-образного винта 3 и гайки-барашек 4 насадка крепится за боковины лестницы. Лестницу с насадкой подносят к опоре, на которую планируется подъем. Насадка упирается в опору на уровне груди человека. Вокруг опоры через проушины одевается анкерная петля. За коуши анкерной петли через карабин крепится гибкая анкерная линия с захватом ползункового типа. Лестница с насадкой и анкерной петлей поднимается на необходимую высоту. Устанавливается в устойчивое положение. Вручную натягивается гибкая анкерная линия. Тем самым анкерная петля фиксируется за опору и создает на верхней части лестницы анкерную точку. Насадка притягивается к опоре неподвижно, тем самым дополнительно предотвращается сдвигание верхней части лестницы в процессе ее использования. Нижний конец анкерной линии завязывается за нижнюю ступеньку лестницы.

Перед подъемом на лестницу человек одевает страховочную привязь и крепится через карабин за захват ползункового типа. Во время подъема захват перемещается по гибкой анкерной линии вместе с человеком, которая соединена с анкерной точкой на насадке. В случае падения человека с лестницы, под воздействием его силы тяжести, анкерная петля через гибкую анкерную линию и захват удерживает его от падения. Тем самым во время подъема по всей длине лестницы человек в каждую единицу времени постоянно застрахован от падения с высоты. Таким образом обеспечивается безопасность работ на высоте при подъеме и работе на лестнице.

Основное преимущество насадки на лестницу с анкерной точкой по сравнению с насадкой для опоры на столб — мачту KRAUSE заключается в наличии анкерной петли.

На рисунке 5 изображена универсальная насадка для верхней части лестницы против соскальзывания для любых типов и размеров опор, столбов, деревьев и плоских поверхностей, не требующая регулировки [8].

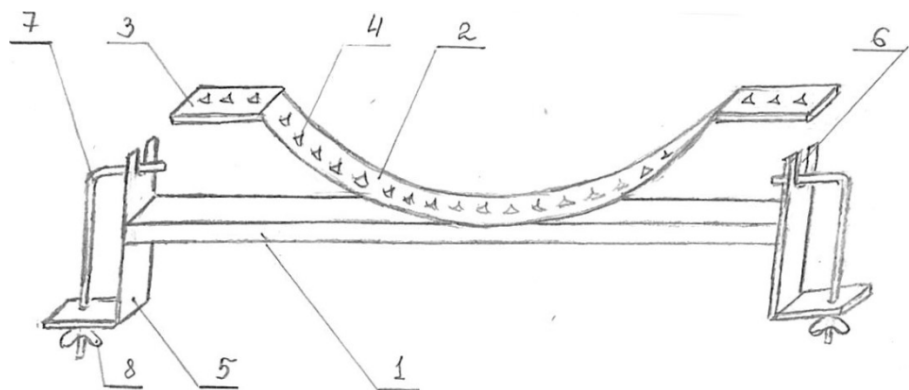


Рис. 5. Насадка на лестницу U-образной формы универсальная, нерегулируемая

Насадка состоит из металлического прямоугольного профиля 1, по краям которого имеются регулируемые зажимы для крепления насадки за лестницу, состоящие их кронштейна 5 с прорезью для регулировки зажима 6, винта Г-образной формы 7 и гайки-барашка 8. На прямоугольном профиле непод-

вижно закреплена U-образная металлическая пластина 2 с отводами по краям 3 на внутренней части которой имеются шипы 4, расположенные по всей поверхности пластины.

Устройство работает следующим образом. Перед использованием лестницы насадка устанавливается на верхний край лестницы. С помощью Г-образных винтов 7 и гаек-барашков 8 насадка крепится за боковины лестницы. Лестница приставляется в необходимом месте, насадка упирается. Под воздействием прилагаемой нагрузки шипы на внутренней части конструкции входят в зацепление с поверхностью и не дают соскальзывать насадке вместе с лестницей. Таким образом, насадка не дает соскальзывать лестнице с необходимой поверхности, тем самым обеспечивается безопасность работ при подъеме и работе на лестнице.

Основные отличия

Чтобы насадка KRAUSE надлежащим образом работала, необходимо ее отрегулировать под конкретный столб — опору. В практическом плане это делается опытным путем: регулировка — приставление лестницы с насадкой — проба на сдвиг. Процесс регулировки может составить несколько циклов, что занимает определенное время. Также насадка для опоры на столб — мачту KRAUSE работает надлежащим образом, если опора — столб правильной круглой или трапециевидальной формы (приставлена к основанию трапеции). Если же деревянная опора в процессе эксплуатации изогнулась или деформировалась, железобетонный столб в верхней части начал крошиться, насадка крепится к боковым сторонам трапеции, а также если нам необходимо приставить лестницу на дерево овальной и неправильной формы или оно будет более 250 мм, то данная насадка не сможет выполнить свою функцию вообще или выполнит ее ненадлежащим образом (верхняя часть лестницы будет неустойчива). Отводы по краям расположены параллельно основанию и задействуются при установке насадки к плоским поверхностям. Таким образом, конструкция насадки позволяет приставлять лестницу к любым поверхностям. Насадка KRAUSE не предназначена для плоских поверхностей.

На рисунке 6 изображена универсальная насадка для верхней части лестницы против соскальзывания для любых типов и размеров опор, столбов, деревьев и плоских поверхностей с возможностью регулировки [9]. В данной насадке реализована возможность увеличения площади сцепления насадки с опорой за счет регулировки, тем самым увеличивается устойчивость лестницы с насадкой против соскальзывания.

Насадка на лестницу состоит из металлического прямоугольного профиля 1, по краям которого имеются регулируемые зажимы для крепления насадки за лестницу, состоящие из кронштейна 2 с прорезью для регулировки зажима 3, винта Г-образной формы 4 и гайки-барашка 5. На прямоугольном профиле 1 неподвижно (при помощи сварки, склейки и т. д.) закреплены кронштейны 6, к которым крепятся на петлях 7 дуги 8 с отводами 9 по краям. На внутренней части дуг 8 с отводами 9 имеются шипы 10 против проскальзывания. При смыкании дуги 8 составляют U-образный профиль, который имеет радиус более 50 см. В нижней части дуги 8 соединяются через пластины 11 при помощи регулируемого винта 12. В пластинах 11 нарезана резьба, по которой может вращаться винт 12. Пластины 11 закреплены к дугам 8 при помощи петель 13. При вращении винт 12 может развести или сомкнуть дуги 8.

При вращении винта 12 дуги 8 изменяют свое положение относительно петель 7, изменяется угол наклона между дуг 8. Соответственно, в зависимости от диаметра опоры можно произвести регулировку прилегания рабочих поверхностей насадки (дуг) с поверхностью опоры, при увеличении площади сцепления рабочих поверхностей насадки с опорой уменьшается проскальзывание. Отводы по краям расположены параллельно основанию и задействуются при установке насадки к плоским поверхностям. При приставлении насадки к плоским поверхностям дуги 8 находятся в сомкнутом положении.

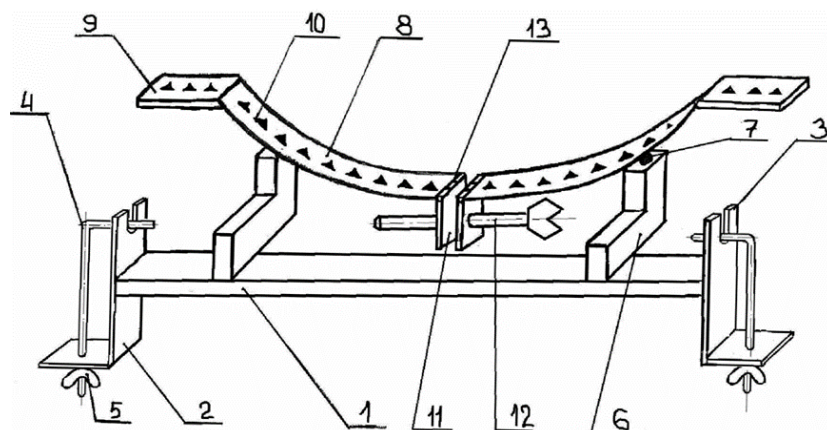


Рис. 6. Насадка на лестницу U-образной формы универсальная, регулируемая

Устройство работает следующим образом. Перед использованием лестницы насадка устанавливается на верхний край лестницы. С помощью Г-образных винтов 4 и гаек-барашков 5 насадка крепится за боковины лестницы. Оценивается место установки лестницы. Если поверхность ровная, то регулируемым винтом 12 дуги 8 смыкаются и в зацепление с поверхностью входят отводы 9. Если же это опора или столб, то визуально оценивается площадь прилегания рабочих поверхностей насадки, при необходимости производится регулировка дуг 8 при помощи винта 12 с целью увеличения площади прилегания к опоре или столбу. Лестница приставляется в необходимом месте, насадка упирается. Под воздействием прилагаемой нагрузки шипы 10 на внутренней части конструкции входят в зацепление с поверхностью и не дают соскальзывать насадке вместе с лестницей. Таким образом конструкция насадки позволяет увеличивать площадь сцепления насадки с опорой и приставлять лестницу с данной насадкой к любым поверхностям, не дает соскальзывать лестнице с необходимой поверхности, тем самым обеспечивается безопасность работ при подъеме и работе на лестнице.

На рисунке 7 изображена универсальная насадка для верхней части лестницы против соскальзывания для любых типов и размеров опор, столбов, деревьев с анкерной точкой [10]. В данной насадке реализована возможность обеспечения безопасности работы на высоте, которая достигается за счет включения в конструкцию насадки анкерной петли, служащей анкерной точкой для крепления страховочной системы, включающую, например, кроме анкерной петли гибкую анкерную линию, средство защиты (захват) ползункового типа и страховочную привязь.

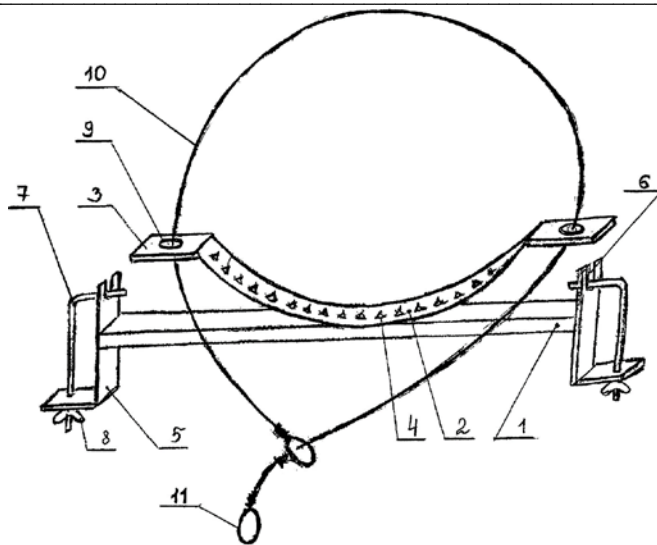


Рис. 7. Насадка на лестницу U-образной формы не регулируемая с анкерной точкой

Насадка состоит из металлического прямоугольного профиля 1, по краям которого имеются регулируемые зажимы для крепления насадки за лестницу, состоящие из кронштейна 5 с прорезью для регулировки зажима 6, винта Г-образной формы 7 и гайки-барашка 8. На прямоугольном профиле неподвижно закреплена U-образная металлическая пластина 2 с отводами по краям 3. На внутренней части U-образной металлической пластины имеются шипы 4 против проскальзывания. Отводы по краям расположены параллельно основанию. Посередине отводов имеются отверстия 9, через которые проходит анкерная петля 10. На обоих концах анкерной петли имеются коуши 11. Анкерная петля работает по принципу «удавки» — при нагружении она затягивается. Свободный конец анкерной петли крепится за страховочную систему, включающую, например, кроме анкерной петли гибкую анкерную линию, средство защиты (захват) ползункового типа и страховочную привязь.

Устройство работает следующим образом. Насадка на лестницу с анкерной точкой устанавливается на верхний край лестницы. С помощью Г-образного винта 7 и гайки-барашка 8 насадка крепится за боковины лестницы. Лестницу с насадкой подносят к опоре, на которую планируется подъем. Насадка упирается в опору на уровне груди человека. Вокруг опоры через отверстия одевается анкерная петля 10. Анкерная петля продевается через один коуш и работает по принципу «удавки» — при нагружении она затягивается. Свободный конец анкерной петли крепится за гибкую анкерную линию и средство защиты (захват) ползункового типа. Лестница с насадкой и анкерной петлей поднимается на необходимую высоту. Лестница приставляется в необходимом месте, насадка упирается. Под воздействием прилагаемой нагрузки шипы на внутренней части U-образной металлической пластины входят в зацепление с поверхностью и не дают соскальзывать насадке вместе с лестницей. Вручную натягивается гибкая анкерная линия. Анкерная петля 10 фиксируется за опору и создает на верхней части лестницы анкерную точку. Насадка притягивается к опоре неподвижно, тем самым дополни-

тельно предотвращается сдвигание верхней части лестницы в процессе ее использования. Нижний конец анкерной линии завязывается за нижнюю ступеньку лестницы. Перед подъемом по лестнице человек одевает страховочную привязь и крепится через карабин за средство защиты (захват) ползункового типа. Во время подъема захват перемещается по гибкой анкерной линии вместе с человеком, которая соединена с анкерной точкой на насадке. В случае падения человека с лестницы страховочная система (анкерная петля — анкерная линия — средство защиты (захват) ползункового типа — страховочная привязь) удерживает его от падения с лестницы. Тем самым по всей длине лестницы человек в каждую единицу времени всегда застрахован от падения с высоты. Таким образом, обеспечивается безопасность работ на высоте при подъеме и работе на лестнице.

На рисунке 8 изображена насадка на лестницу с кольцевой цепью [11]. В данной насадке кольцевая цепь по своей сути является устройством против сдвига.

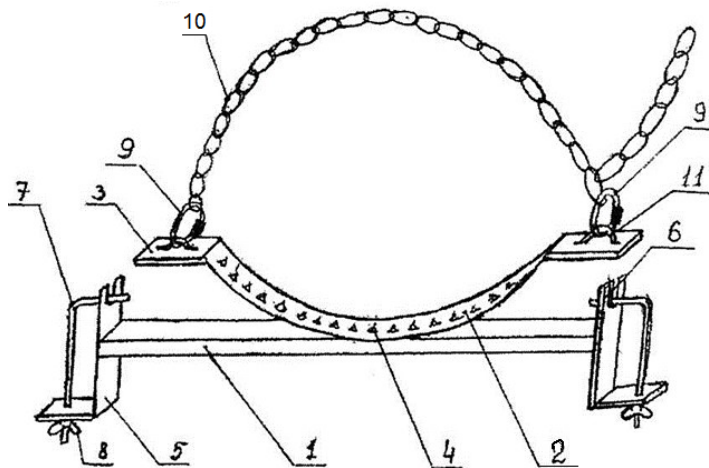


Рис. 8. Насадка на лестницу U-образной формы с кольцевой цепью

Насадка состоит из металлического основания прямоугольного профиля 1, по краям которого имеются регулируемые зажимы для крепления насадки за лестницу, состоящие из кронштейна 5 с прорезью для регулировки зажима 6, винта Г-образной формы 7 и гайки-барашка 8. На прямоугольном профиле неподвижно закреплена U-образная металлическая пластина 2 с отводами по краям 3. На внутренней части U-образной металлической пластины имеются шипы 4 против проскальзывания. Отводы 3 по краям расположены параллельно основанию 1. Их выполняют параллельно основанию 1, если опора для лестницы имеет плоскую поверхность. В зависимости от формы опоры отводы 3 металлической пластины 2 могут быть выполнены под разным углом. Посредине отводов 3 неподвижно присоединены полукольца 11 для крепления цепи 10 через карабины 9 с двух сторон с помощью полуколец 11. Возможно крепление цепи 10 неразъемно с одной из сторон через полукольцо 11 и разъемно — с другой стороны через карабин 9.

Устройство работает следующим образом. Перед использованием лестницы насадка устанавливается на верхний край лестницы. С помощью

Г-образных винтов 7 и гаек-барашков 8 насадка крепится за боковины лестницы. Лестница приставляется к опоре в необходимом месте, насадка упирается в опору. Под воздействием прилагаемой нагрузки шипы 4 на внутренней части металлической пластины 2 входят в зацепление с поверхностью опоры и не дают соскальзывать насадке вместе с лестницей. После подъема на опору она опоясывается цепью 10 и закрепляется за отвод 3 через полукольцо 11 и карабин 9. Таким образом, насадка входит в неподвижное надежное сцепление с опорой за счет шипов 4 на U-образной металлической пластине 2, а металлическая цепь 10, опоясанная за опору, не дает сдвинуться насадке относительно опоры. Таким образом, верхний край лестницы имеет две степени защиты против сдвигания: шипы на U-образной металлической пластине, которые предотвращают проскальзывание, и металлическая цепь, надежно фиксирующая насадку с лестницей на опоре.

Попробуем систематизировать рассмотренные выше насадки на лестницы. Во-первых, насадки можно квалифицировать по способу сцепления с опорой, так как чем лучше сцепление, тем меньше возможность лестницы с насадкой соскользнуть с опоры. Регулировка насадки дает возможность увеличить площадь сцепления. Анкерная петля, цепь против сдвигания — это те инженерные решения, которые обеспечивают надежное сцепление лестницы с насадкой и опоры. Наличие в составе насадки анкерной петли позволяет обеспечить страховку при подъеме на высоту.

В таблице 1 представлена систематизация способов крепления лестницы к опоре по функциональному исполнению и степени безопасности использования.

Т а б л и ц а 1

*Систематизация способов крепления лестницы к опоре
 по функциональному исполнению и степени безопасности использования*

Способ крепления лестницы к опоре по функциональному исполнению	Надежность и функциональность сцепления с опорой		
	наличие устройства по сцеплению верхнего края лестницы против сдвигания	крепление верхнего края лестницы к опоре через насадку на лестницу	Обеспечение безопасности работ на высоте
Лестница без насадки	—	—	—
Лестница с насадкой против сдвигания	+	—	—
Лестница с насадкой и кольцевой цепью	+	+	—
Лестница с насадкой и анкерной точкой	+	+	+

Надежность сцепления с опорой обеспечивается следующим факторами:

1. При креплении верхнего края лестницы через насадку надежность сцепления будет обеспечиваться надежностью отдельных элементов насадки, а именно: надежностью крепления насадки с лестницей, прочностью самой насадки, надежностью крепления насадки к опоре.

Условием работоспособности конструкции, подверженной силовому нагружению, в общем случае является то, что выраженная в единицах проч-

ность конструкции R должна быть больше нагрузки N , воспринимаемой этой конструкцией. Обозначив их разность как запас прочности Z , запишем это условие как [12—14]:

$$Z = R - N \geq 0.$$

Так как наша конструкция состоит из нескольких элементов, то в нашем случае эта формула будет выглядеть как:

$$Z = \sum_n^1 R - N \geq 0,$$

где n — число элементов конструкции.

2. При установке лестницы с насадкой к опоре сила сцепления насадки с опорой будет зависеть от степени свободного хода между насадкой и опорой (площади сцепления насадки с опорой), от силы трения сцепляющихся поверхностей.

В таблице 2 насадки систематизированы по способу надежности сцепления с опорой.

Т а б л и ц а 2

Насадки по способу надежности сцепления с опорой

Наименование насадок	Регулировка по обхвату опоры	Регулировка по площади сцепления с опорой	Фиксация за опору
Насадка на столб — опору KRAUSE	+	—	—
Насадка на лестницу с анкерной точкой	+	—	+
Насадка на лестницу U-образной формы универсальная, нерегулируемая	—	—	—
Насадка на лестницу U-образной формы универсальная, регулируемая	+	+	—
Насадка на лестницу U-образной формы, нерегулируемая, с анкерной точкой	—	—	+
Насадка на лестницу с кольцевой цепью	—	—	+

Анализ результатов

Наиболее безопасной насадкой на верхний край лестницы в работе будет та конструкция, которая фиксируется за опору. Сдвигание верхнего конца лестницы в данном случае возможно только при нарушении целостности самой конструкции. Насадка с наличием в своем составе анкерной точки обеспечит безопасность работ на высоте. Но насадка с анкерной точкой по своей сути может подойти не во всех случаях. К примеру, если на опоре имеется крепление линий связи (линий электропередач) в нескольких местах, расположенных на различных расстояниях по высоте. В таком случае анкерную петлю снизу не поднять — будет мешать подвес.

Остальные конструкции насадок, которые жестко не фиксируются за опору, будут иметь ту или иную степень безопасности, зависящую от модуля сцепления насадки, которая, в свою очередь, будет зависеть от ее конструкции.

Эмпирически можно сделать вывод, что устойчивость насадки с лестницей будет тем выше, чем больше коэффициент трения насадки, который зависит от материала насадки, и чем меньше степеней свободы движения в связке «насад-

ка — опора», которые зависят от конструкции самой насадки. Данные эмпирические законы в основном подтверждаются инженерной практикой.

В настоящее время для обеспечения и оценки безопасности труда преимущественным является риск-ориентированный подход. Для оценки риска применяются математические модели, которые могут сопоставить и оценить риск [15, 16].

Данная математическая модель дает нам понимание развития наиболее эффективных инженерных решений в разработке насадок на лестницу против сдвигания верхней ее части и может использоваться в оценке риска при выполнении работ на высоте с использованием лестниц.

Выводы:

1. Обеспечение безопасности работ на высоте при работе с лестниц является одной из важных в системе мер безопасности и охраны труда в строительстве.

2. Существуют различные инженерные решения, которые могут обеспечить безопасность работ на высоте с использованием лестниц. Нет универсального эффективного инженерного решения для обеспечения безопасности работ на высоте с лестницы. В различных ситуациях наиболее эффективные инженерные решения могут быть различными.

3. Развитие технических мер безопасности имеет в своем составе большой потенциал, так как исключает в данном процессе влияние человеческого фактора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сенченко В. А., Карауш С. А., Каверзнева Т. Т. Меры безопасности при производстве работ на двускатных крышах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 2. С. 5—14. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.01.
2. Extension-Ladder Safety: Solutions and Knowledge Gaps / H. Hsiao, P. Simeonov, T. Pizatella, N. Stout // *Industrial Ergonomics*. Vol. 38. Iss. 11—12. Pp. 959—965. DOI: 10.1016/j.ergon.2008.01.011.
3. Plinera E. M., JinSeo N., Beschoner K. E. Factors affecting fall severity from a ladder: Impact of climbing direction, gloves, gender and adaptation // *Applied Ergonomics*. Vol. 60. Pp. 163—170. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.11.011.
4. Häkkinen K. K., Pesonen J., Rajamäki E. Experiments on safety in the use of portable ladders // *Occupational Accidents*. Vol. 10. Iss. 1. Pp. 1—19. DOI: 10.1016/0376-6349(88)90002-8.
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) / C. M. Socias, C. K. Chaumont Menéndez, J. W. Collins, P. Simeonov // *Occupational ladder fall injuries*. United States, 2011.
6. Chang Ch-Ch., Chang W-R., Matz S. The effects of straight ladder setup and usage on ground reaction forces and friction requirements during ascending and descending // *Safety Science*. Vol. 43. Iss. 7. Pp. 469—483. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.08.002.
7. Насадка на лестницу с анкерной точкой : патент на полезную модель № 185193 Рос. Федерации ; заявл. 29.09.2018. Патентообладатель: ФГБОУВО Донской государственный технический университет.
8. Насадка на лестницу : патент на полезную модель № 184480 Рос. Федерации; заявл. 26.11.2018. Патентообладатель: ФГБОУВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
9. Насадка на лестницу : патент на полезную модель № 193480 Рос. Федерации ; заявл. 30.10.2019. Патентообладатель: ФГБОУВО Донской государственный технический университет.
10. Насадка на лестницу с анкерным устройством : патент на полезную модель № 196601 Рос. Федерации ; заявл. 06.03.2020. Патентообладатель: ФГБОУВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
11. Насадка на лестницу : патент на полезную модель № 189558 Рос. Федерации ; заявл. 28.05.2019. Патентообладатель: ФГБОУВО Томский государственный архитектурно-строительный университет.

12. *Шатина А. В.* Эволюция движения механических систем с бесконечным числом степеней свободы : автореферат дис... докт. физ.-мат. наук. М., 2007.
13. *Каган М. Л., Антонов В. И., Белов В. А.* Особенности сухого трения // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 183—190
14. *Минько В. М.* Математическое моделирование в охране труда. Калининград : ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. 248 с.
15. *Sazonova A., Kopytenkova O., Staseva E.* Risk of pathologies when exposed to fine dust in the construction industry // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering 21, Construction — The Formation of Living Environment. 2018. Pp. 032039.
16. *Сенченко В. А., Пушенко С. Л., Стасева Е. В.* Концепция технических мер безопасности при выполнении высотных работ на крышах зданий в условиях арктического севера // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. № 51(70) С. 178—185.

© Сенченко В. А., Скрипник И. Л., Пушенко С. Л., Стасева Е. В., Каверзнева Т. Т., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности организации и ведения строительных работ на высоте с использованием лестниц / В. А. Сенченко, И. Л. Скрипник, С. Л. Пушенко, Е. В. Стасева, Т. Т. Каверзнева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 108—121.

Об авторах:

Сенченко Владимир Александрович — ведущий специалист по охране труда, Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком». Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Гоголя, 6; vladimir.senchenko@rambler.ru

Скрипник Игорь Леонидович — канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149; ig.skrpnick2011@yandex.ru

Пушенко Сергей Леонардович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности технологических процессов и производств, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162; SCOPUS ID: 57192673799, psl@rgsu.ru

Стасева Елена Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162; SCOPUS ID: 57193267277, elena_staseva@mail.ru

Каверзнева Татьяна Тимофеевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; SCOPUS ID: 6507592108, ORCID: 0000-0002-7423-4892, kaverztt@mail.ru

Vladimir A. Senchenko^a, Igor L. Skripnick^b, Sergei L. Pushenko^c, Elena V. Staseva^c, Tat'yana T. Kaverzneva^d

^a *Volgograd branch of PAO Rostelekom*

^b *Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*

^c *Don State Technical University*

^d *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

FEATURES OF ORGANIZATION AND EXECUTION OF CONSTRUCTION WORKS AT HEIGHT USING STAIRS

Work at height is high-risk work. The most common are construction work at height using stairs. Injury statistics in the Russian Federation show that the proportion of injuries at work at altitude is about 25 % of the total number of injuries. Staircase falls are the second leading cause of accidents at work and in the construction industry in Russia and the United States. A significant part of

these incidents occur on construction sites and during operation using extension ladders. Injuries from falling from a height, including from the stairs, are usually severe. About 70 % of injuries with serious consequences when using stairs occur with portable stairs, and the most common cause of fall and injury is that the stairs slide under the user. The article presents the peculiarities of organizing and conducting construction work at a height using stairs. Engineering solutions aimed at preventing slippage of the upper part of the ladder during operation on the support are considered and systematized. Engineering solutions were evaluated for different applications.

Key words: construction, work at height, support, staircase, ladder shift, ladder slip, staircase drop, straight staircase, nozzle clutch force — support.

For citation:

Senchenko V. A., Skripnick I. L., Pushenko S. L., Staseva E. V., Kaverzneva T. T. [Features of organization and execution of construction works at height using stairs]. *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], 2020, iss. 3, pp. 108—121.

About authors:

Vladimir A. Senchenko — Leading Expert in Labour Safety, Volgograd branch of PAO Rostelekom. 6, Gogolya st., Volgograd, 400131, Russian Federation; vladimir.senchenko@rambler.ru

Igor L. Skripnick — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Professor of Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia; 149, Moskovskiy Ave., Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation; ig.skripnick2011@yandex.ru

Sergei L. Pushenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya st., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation; SCOPUS ID: 57192673799, psl@rgsu.ru

Elena V. Staseva — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya st., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation; SCOPUS ID: 57193267277, elena_staseva@mail.ru

Tat'yana T. Kaverzneva — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Health and Safety Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 29, Polytechnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; SCOPUS ID: 6507592108, ORCID: 0000-0002-7423-4892, kaverztt@mail.ru

УДК 614.78

О. А. Ганжа, Н. А. Куткая, В. В. Прокопенко, О. А. Растяпина

Волгоградский государственный технический университет

МЕТОДИКА ВЫБОРА ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Авторами проведено обобщение многолетних научных исследований в области изучения влияния антропогенных факторов на качество городской среды. Рассмотрены антропогенные факторы городской среды — загазованность и шум на примагистральных и межмагистральных территориях. Представлена систематизация источников городского шума. Предложена методика выбора шумозащитных мероприятий с учетом значения критерия относительной шумовой нагрузки и степени акустической опасности и алгоритмическая схема выбора оптимального шумозащитного мероприятия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: загазованность, городской шум, шумозащитные мероприятия, качество среды.

Современные города характеризуются высокой загазованностью воздуха и уровнем шума, что и определяет интерес исследователей к этим проблемам.

Отечественный и зарубежный опыт исследования эмиссии отработанных газов и уровня шума городского транспорта показывает, что основными средствами снижения загазованности и зашумленности на улицах и дорогах современных городов являются технические, организационно-правовые и градостроительные мероприятия [1—4].

Одним из основных принципов законодательства о градостроительной деятельности является соблюдение требований охраны окружающей среды и экологической безопасности. Данное положение закреплено в Градостроительном кодексе Российской Федерации и ставит задачу обеспечения экологической безопасности в формировании благоприятной среды жизнедеятельности городского населения.

На качество компонентов городской среды — среды обитания человека — оказывает влияние множество факторов природного и антропогенного характера. Приоритетной является группа антропогенных факторов — факторов химического и физического загрязнения воздушной среды: загазованность и шум. Все чаще данные факторы определяются как факторы риска для городского населения, которые оказывают влияние на здоровье и уровень их физической и психической заболеваемости, продолжительность жизни [5—7].

Основная цель экологической безопасности состоит в достижении устойчивого развития с созданием благоприятной среды обитания и комфортных условий жизнедеятельности. Наиболее уязвимыми городскими территориями являются примагистральные и межмагистральные территории, которые испытывают экологическую нагрузку от действия транспортно-коммуникационной инфраструктуры, застройки и группы экологических факторов. Структура безопасности среды системна и может быть рассмотрена системой «среда обитания человека — городские территории — антропо-

генные факторы — уровень экологической безопасности территории». Уровень экологической безопасности примагистральных и межнагистральных территорий связан с оценкой качества окружающей среды. Показателем величины может быть рассмотрен индекс качества среды (лучшее качество — большее значение индекса), который определяется как обратная величина индекса загрязнения среды. В качестве критериев качества окружающей среды используются предельно допустимые концентрации (ПДК) и допустимые уровни звука (эквивалентные и максимальные уровни звука), которые являются гигиеническими нормативами качества окружающей среды [8, 9]. К факторам, определяющим уровень экологической безопасности, относят: массу пыли, концентрацию загрязняющего вещества, степень шумовой нагрузки, плотность и этажность застройки, плотность зеленых насаждений, конфигурацию застройки, группу транспортных и планировочных факторов [9, 10].

Акустическая среда [8, 11, 12], являясь одной из составляющих среды обитания и производственной деятельности человека, представлена как система, включающая в себя следующие подсистемы: подсистему источников шума — транспортные потоки; подсистему пространственных объектов, которые находятся в сложном взаимодействии. В условиях города эмиссионные характеристики, как правило, зависят от характера застройки и земной поверхности, наличия зеленых насаждений и экранирующих сооружений, целого ряда природных факторов — влажности и температуры воздуха, ветра, а также параметров, характеризующих транспортный поток и условия его движения.

Эквивалентный уровень звука будет зависеть от множества факторов:

- параметров, характеризующих транспортный поток и условия его движения;
- параметров, характеризующих планировочные особенности магистрали и примагистральной территории (продольный профиль проезжей части, наличие зеленых насаждений, характер застройки и земной поверхности).

Городская среда включает в себя множество технических сооружений, транспортно-коммуникационных сетей, промышленных, спортивных и коммунальных объектов, которые являются источниками шума, имеющими различные акустические мощности и длительности действия.

Основные источники городского шума систематизированы по следующим принципам [13, 11]:

1) по видам источников — транспортные, промышленные и коммунально-бытовые;

2) по принципам функционирования:

- стационарные (неподвижные) — это электрические трансформаторы, вентиляционные и компрессорные установки, установки промышленных предприятий, спортивные и игровые площадки;
- мобильные (находящиеся в движении) — это потоки всех видов наземного, автомобильного и рельсового транспорта на улично-дорожной сети городов и внегородских магистралях; авиационный транспорт в аэропортах и зонах подхода к аэродромам; водный транспорт; железнодорожный транспорт.

По геометрическим параметрам в масштабе города источники шума подразделяются:

- точечные (отдельные автотранспортные средства, локомотив, самолет, отдельные коммунальные и промышленные агрегаты);
- линейные (транспортные потоки, потоки железнодорожного транспорта);
- пространственные (промышленные территории, автовокзалы, транспортные развязки, логистические центры и т. д.) с большой концентрацией автотранспортных средств и высокой плотностью населения, подвергающегося воздействию вредных экологических факторов.

Транспортные потоки, являясь источником непостоянного шума, уровни звука которого изменяются во времени более чем на 5 дБА, зависят в основном от интенсивности и плотности транспортного потока [14, 11].

По физическим свойствам шумообразования в источнике:

- источники постоянного шума, уровни звукового давления которого изменяются во времени не более чем на 5 дБА — работающие компрессорные и вентиляционные установки, электрические трансформаторы и другие, постоянно работающие установки промышленных предприятий;
- источники непостоянного шума, уровни звукового давления которого изменяются во времени более чем на 5 дБА — все виды средств наземного, водного и воздушного транспорта, спортивные и игровые площадки.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003—83 «Шум. Общие требования безопасности»¹ [11] непостоянный шум подразделяется на следующие разновидности:

- колеблющийся во времени, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;
- прерывистый, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБ и более), причем длительность интервалов, в котором промежутки времени, заполненные постоянным шумом, в течение которого шум остается постоянным, составляет 1 с и более. К ним могут быть отнесены шумы от работы периодически включающихся вентиляционных или насосных установок, шумы непостоянно работающих установок промышленных предприятий или испытательные стенды;
- импульсный, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеренные в дБ А₁ и дБ А соответственно на временных характеристиках «импульс» и «медленно», отличаются не менее чем на 7 дБ.

Исходя из рассмотренных принципов систематизации, предлагается следующая структурная схема классификации основных источников городских шумов (рис. 1).

Многочисленные исследования [11, 15—17] показали, что в подавляющем большинстве случаев именно шум транспорта, в частности транспортных потоков, определяет шумовой фон города, автомобильный транспорт

¹ ГОСТ 12.1.003—83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением № 1). Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 06 июня 1983 г. № 2473.

является наиболее вредным источником акустического загрязнения городской среды.

Подход к транспортному потоку как источнику акустического загрязнения основан на том, что его воздействие на окружающую среду рассматривается как сумма воздействий одиночных автотранспортных средств. В условиях города движение транспортного потока характеризуется большой концентрацией автотранспортных средств и высокой плотностью населения, подвергающегося воздействию вредных экологических факторов.

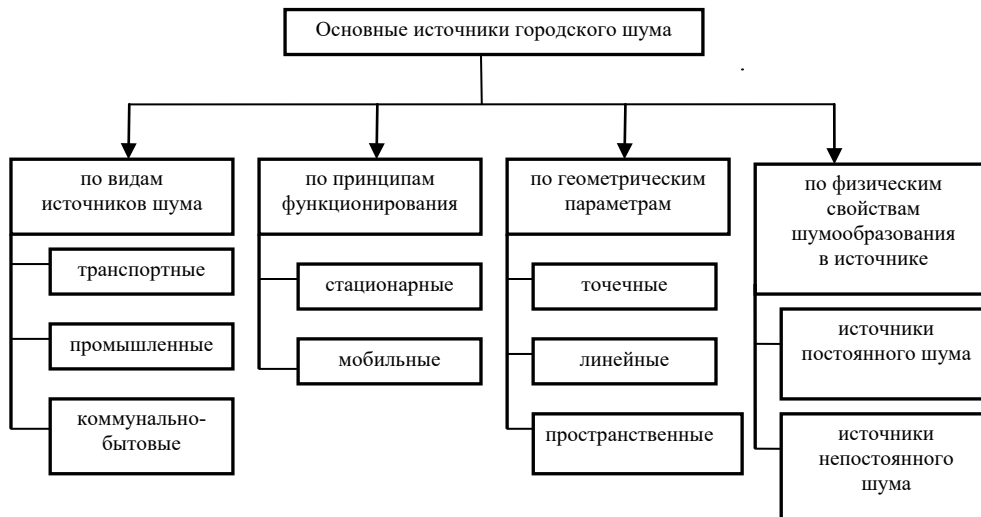


Рис. 1. Классификация источников городского шума [4].

Транспортные потоки, являясь источником непостоянного шума, уровни звука которого изменяются во времени более чем на 5 дБА, зависят в основном от интенсивности и плотности транспортного потока [14].

Выбор мероприятий по снижению шума на территориях, прилегающих к зоне регулируемых транспортных пересечений, осуществляется в соответствии с их акустической эффективностью и степенью шумовой нагрузки рассматриваемой территории (табл.).

При проектировании или проведении анализа шумового режима существующей застройки вблизи транспортных магистралей и их пересечений необходимо заранее предусмотреть необходимые меры по защите от транспортного шума. Проведение сравнительной оценки вариантов шумозащитных мероприятий предлагается осуществлять с использованием следующих показателей:

- 1) значение шумовой нагрузки, $K_{отн}$;
- 2) число жителей, проживающих в зоне акустического дискомфорта, чел.;
- 3) площадь территории в зоне акустического дискомфорта, %;
- 4) годовой экономический ущерб от шумового воздействия, руб.;
- 5) затраты на проведение шумозащитных мероприятий, обеспечивающих население акустическим комфортом, руб.;
- 6) акустическая эффективность шумозащитных мероприятий, дБА.

Шумозащитные мероприятия по снижению шума для территорий, примыкающих к регулируемым перекресткам с разной степенью акустической опасности шумового воздействия [11]

Степень акустической опасности	Значение критерия относительной шумовой нагрузки, $K_{отн}$	Мероприятия	Акустическая эффективность, дБА
1	2	3	
Малоопасная	менее 1,0	Не требуется проведение мероприятий по ограничению шума	
Умеренная	$1,0 \leq K_{отн} \leq 1,3$	Зональная застройка и планировка территории: размещение вдоль магистралей в зданиях-экранах торговых, коммунально-бытовых и административных предприятий и организаций, а также части жилого фонда при условии размещения его в шумозащитных домах; шумозащитное зонирование застройки по этажности: магазины, жилые дома с нарастающей этажностью, размещение в торцах зданий экранирующих сооружений, препятствующих распространению шума во внутреннее пространство: здания нежилого назначения, шумозащитные полосы озеленения; исключение транзитных автотранспортных средств из транспортного потока; увеличение площади зеленых насаждений (реконструкция системы зеленых насаждений)	5...25
Умеренно опасная	$1,3 \leq K_{отн} \leq 1,5$	Усиление звукоизоляции окон и балконных дверей зданий первого этажа с использованием современных конструкций окон, позволяющих снизить шум до 30 дБА; рациональная организация движения автотранспорта по магистрали; сооружение подземных пешеходных путей на участках перекрестков с наиболее интенсивным движением; использование территориальных разрывов; применение шумозащитных жилых домов; рациональная планировка межмагистральных территорий	10...30
Опасная	$1,5 \leq K_{отн} \leq 2,0$	Рациональное взаиморазмещение территорий различных функциональных зон: чередование зашумленных и спокойных территорий; применение практики постепенного ослабления звука: от зоны, подверженной шуму, переход к спокойной зоне через ряд промежуточных зданий, которые снижают шум; использование шумозащитных экранов природного и искусственного характера; применение звукопоглощающих материалов для отделки зданий; выбор эффективных приемов застройки; использование подземного пространства	5...25 5...30 10...20 5...30

В настоящее время существуют специальные методики рекомендательного характера, в которых подробно рассматриваются вопросы расчета экономического ущерба от негативного воздействия на окружающую среду и экономической эффективности проведения средозащитных мероприятий².

Экономическая оценка эффекта мероприятий по защите от шума определяется путем установления годового экономического эффекта от этих мероприятий. Годовой экономический эффект целевого шумозащитного мероприятия определяется как разность достигаемого благодаря этому мероприятию годового экономического результата и годовых приведенных затрат, необходимых для проведения шумозащитных мероприятий.

Выбор оптимального варианта защиты от шума из некоторого множества вариантов целевых мероприятий проводится в соответствии с руководством³ по алгоритмической схеме (рис. 2).

В настоящее время акустический комфорт может быть достигнут путем проведения различных мероприятий, влияющих на снижение уровня шума (рис. 3). Каждое из рассмотренных мероприятий является решением основных урбоэкологических задач, которые сформулированы в иерархической системе управления экологической безопасностью градостроительной деятельности, составленной академиком В. В. Владимировым [18]. Система управления экологической безопасностью включает в себя три уровня: макротерриториальный, мезотерриториальный, микротерриториальный.

К числу инженерно-технических мероприятий, направленных на снижение уровня шума городского транспорта, относят: улучшение шумоизоляции, вибро- и звукопоглощения кабины и кузова; совершенствование конструкции заглушающих систем на впуске и выпуске; повышение аэродинамических свойств вентилятора; разработка форм и рисунка протектора и другие. Специалисты полагают, что технические средства наиболее эффективны в устранении загазованности и зашумленности улиц, поскольку направлены непосредственно на источник вредных выбросов и шума.

Организационно-правовые и организационно-административные мероприятия включают: контроль за техническим состоянием транспорта, транспортно-регулирующие средства, разработку нормативов и установление стандартов на допустимые уровни загазованности и шума.

² Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. Одобрена Постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР, Президиума АН СССР от 21 октября 1983 г. № 254/284/134. М. : Экономика, 1986.

Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Утверждена Госкомэкологией РФ 9 марта 1999 г.

Руководство по технико-экономической оценке шумозащитных мероприятий, осуществляемых строительно-акустическими методами // НИИСФ. М. : Стройиздат, 1981. 40 с.

³ Руководство по технико-экономической оценке шумозащитных мероприятий, осуществляемых строительно-акустическими методами // НИИСФ. М. : Стройиздат, 1981. 40 с.

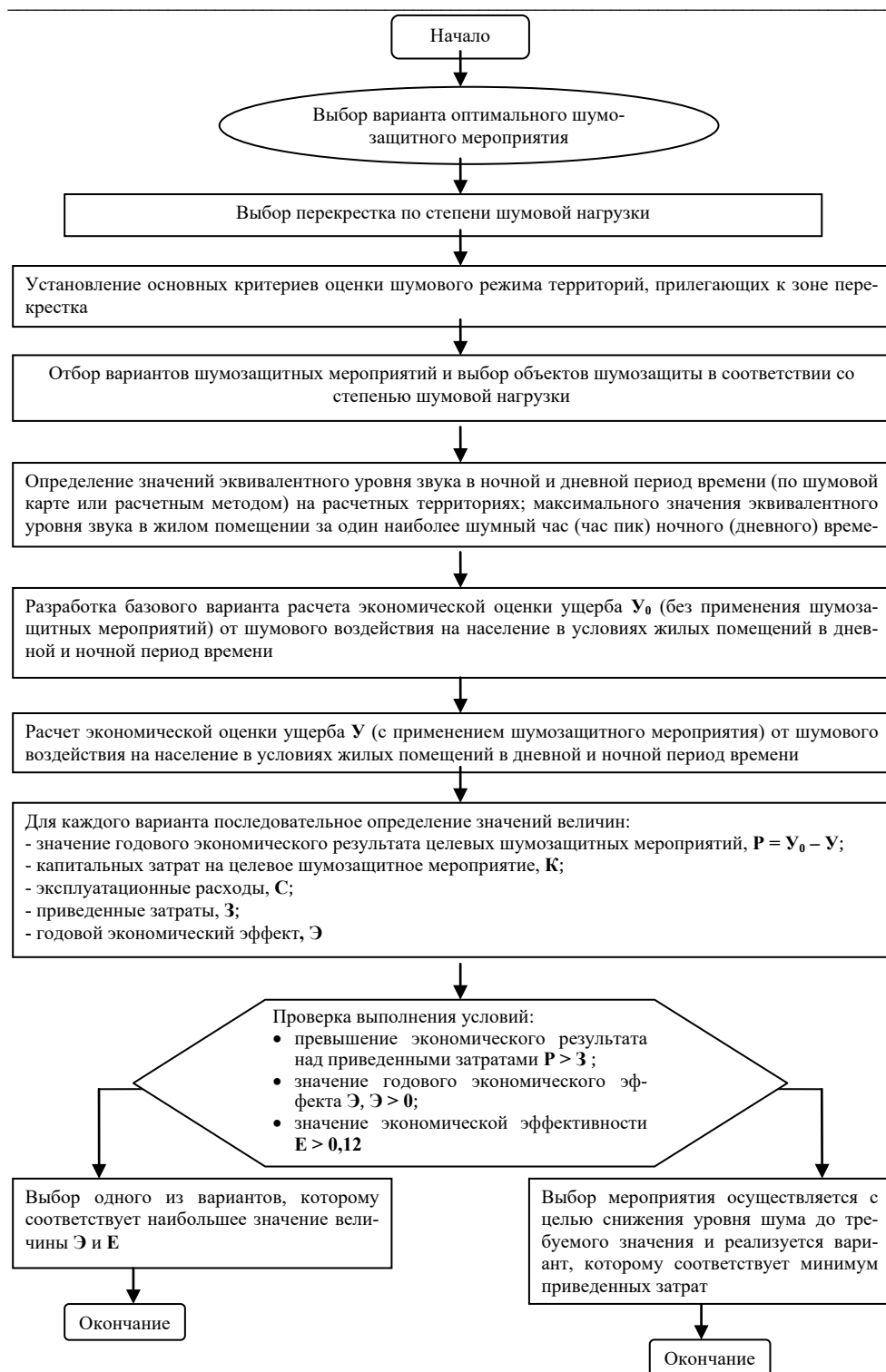


Рис. 2. Схема выбора оптимального шумозащитного мероприятия [11]



Рис. 3. Система мероприятий по снижению шума и обеспечению нормативных уровней звука [18]

Градостроительные мероприятия позволяют снизить уровень шума на прилегающих территориях путем использования территориальных разрывов; оптимальной планировки улиц и дорог; зонирования застройки; использования естественных и создания искусственных защитных экранов; использования подземного пространства; применения шумозащитного озеленения (см. табл.).

По мере удаления от транспортной магистрали уровни загазованности и шума уменьшаются за счет рассеивания, поглощения подстилающей поверхностью и зелеными насаждениями. В связи с этим одним из способов защиты от городского транспорта считают территориальные разрывы. Однако создать комфортную ситуацию, используя только этот прием не удастся, т. к. зона дискомфорта прилегающей территории может простираться на сотни метров. Удаление микрорайонов от проезжей части приведет к «расползанию» жилой зоны города, удлинению инженерных систем и коммуникаций, что с экономической точки зрения не оправдано. В условиях реконструкции и строительства новых городов снижение концентрации загрязняющих веществ и уровня шума достигается за счет рациональной планировки улично-дорожной сети.

При проектировании транспортной системы в городах прежде всего выбирают схему построения сети магистральных улиц. Среди основных типов транспортных систем самыми неблагоприятными с экологических позиций являются: радиальная, радиально-кольцевая, затем по ранжированию следуют: прямоугольная и линейная. Преимущество линейно-полосовых структур заключается в том, что они позволяют центру города свободно развиваться в пространстве, а также исключают его перегрузку транспортом. Вместе с этим линейно-полосовые структуры обеспечивают высокую эффективность использования скоростного внеуличного транспорта, создают благоприятные условия для аэрации городских территорий. После выбора типа транспортной сети проводится функциональное зонирование улиц и дорог города для создания комфортных условий проживания. Это достигается путем устройства специализированных внеуличных дорог преимущественно грузового движения в промышленно-складских и санитарно-защитных зонах; созданием без-

автомобильных зон (пешеходных улиц, набережных); организацией одностроннего движения и другими мерами. Уделяется внимание типу и конфигурации проездов, развязок, разворотных площадок, т. к. именно здесь наблюдаются высокие уровни загазованности воздуха. Исследователи [14] отмечают, что при кольцевой разворотной площадке уровни звука на 2...3 дБА ниже, чем при прямоугольной или трехлепестковой. Отметим, что вопросы загазованности и шумообразования на транспортных узлах требуют более глубокого изучения.

Большой научный и практический интерес при реконструкции представляет возможность преобразования радиально-кольцевых планировочных структур городов в линейно-полосовые. Значительное снижение концентрации загрязняющих веществ и уровня шума на территории жилой застройки достигается ее зонированием. При этом в непосредственной близости от магистрали рекомендуется располагать торговые и коммунально-бытовые здания, допускающие высокие и средние уровни шума, где основная масса людей находится в течение непродолжительного времени. Во втором ряду располагают малоэтажную застройку, когда в зону дискомфорта от городского транспорта попадает сравнительно небольшое число жителей. И наконец, в глубине микрорайона размещают основной жилой многоэтажный фонд, места кратковременного отдыха, школы, детские учреждения, поликлиники и больницы.

Эффективным приемом защиты от негативных последствий городского транспорта считаются стенки-экраны. В зависимости от конструктивного материала, высоты, протяженности экранов, расстояния от транспортного потока газозащитная функция таких сооружений составляет 40...50 %, шумозащитные свойства достигают 4...20 дБА [11, 16].

Если территория внутри микрорайона защищена от негативного влияния городского транспорта, то население, проживающее в первом ряду застройки, находится в зоне воздушного и шумового дискомфорта. В связи с этим предлагаются варианты шумозащищенных и шумозащитных зданий, которые одновременно выполняют и газозащитные функции. Шумозащищенным считается такой дом, в котором акустический комфорт во всех помещениях достигается за счет увеличения звукоизолирующей способности ограждающих конструкций, в первую очередь оконных и дверных блоков.

Шумозащитный дом предполагает объемно-планировочное решение, при котором в сторону источника шума отнесены преимущественно комнаты дневного пребывания, лестнично-лифтовые узлы и другие подсобные помещения, т. е. воздушный и акустический комфорт достигается только в жилых помещениях (спальнях). Одним из приемов в снижении неблагоприятного воздействия городского транспорта на окружающую среду и здоровье населения является применение защитного озеленения, которое помимо биологической очистки выполняет роль экрана, задерживающего и отражающего пыль, газообразные вещества, звуковые волны. Газозащитные функции зеленых насаждений проявляются в уменьшении содержания газообразных веществ за счет их поглощения и детоксикации [19, 20]. Экранирующие свойства зелени заключаются в том, что кроны деревьев и кустарников представляют собой переменнo-контрастную среду, где непрерывно меняются местами прозрачные и непрозрачные элементы [19—21].

В исследованиях, посвященных изучению защитных свойств зелени, учитываются: высота, ширина, рядность, видовой состав, плотность насаждений [19—22]. Кустарники и однорядные посадки деревьев снижают концентрацию пыли на 8...20 %, СО — на 5...12 %. Уровень шума за такими конструкциями посадок остается практически неизменным. Двух- и трехрядная живая изгородь снижает загазованность по пыли на 40...55 %, по СО — на 25...85 %. Уровень шума за такими посадками снижается на 2...12 дБА. Приведенные выше показатели газо- и шумозащитной эффективности зеленых насаждений завышены, так как в исследованиях не учтен тот факт, что отработанные газы и шум наряду с поглощением и отражением снижаются за счет расстояния. Отмечается, что защитные свойства хвойных видов деревьев выше по сравнению с лиственными породами зеленых насаждений. Но в условиях большого города хвойные являются менее долговечными, требуют дополнительного ухода и затрат [22, 23]. В связи с этим целесообразность применения хвойных видов должна рассматриваться в каждом конкретном случае.

Таким образом, используя комплекс мероприятий, возможно добиться комфортных условий проживания на примамгистральных территориях. Выбор мероприятий по снижению шума на городских территориях осуществляется в соответствии с их акустической эффективностью, степенью акустической опасности и соответствующим значением относительной шумовой нагрузки рассматриваемой территории. В зависимости от конкретных условий защита от шума включает в себя как отдельные мероприятия, так и различные сочетания. Потребность мероприятий по защите от шума устанавливается исходя из степени шумовой нагрузки и числа жителей, проживающих на рассматриваемой территории [24], а количественное сопоставление различных вариантов осуществляется в соответствии с их акустической эффективностью и экономической целесообразностью.

В целях оценки шумового режима и степени загазованности примамгистральных территорий проведение сравнительной оценки вариантов шумозащитных мероприятий предлагается осуществлять с применением следующих показателей: значений относительной шумовой нагрузки, $K_{отн}$ и степени акустической опасности; числа жителей, проживающих в зоне акустического дискомфорта, чел.; площади территории в зоне акустического дискомфорта, %; годового экономического ущерба от шумового воздействия, руб.; затрат на проведение шумозащитных мероприятий, обеспечивающих население акустическим комфортом, руб.; акустической эффективности шумозащитных мероприятий, дБА.

На основе результатов анализа фактического и прогнозируемого состояния акустической среды, использования методов системного анализа процессов распространения шума, выбора шумозащитных мероприятий и проведения их оценки возможно предупреждение его негативного воздействия на различных уровнях управления экологической безопасностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The influences of urban planning and green spaces on the level of traffic noise / A. V. Solovyov, M. V. Dulembaev, Y. S. Rubnov, S. P. Soloviev etc. // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2018.
2. An instantaneous spatiotemporal model for predicting traffic-related ultrafine particle concentration through mobile noise measurements / M. Y. Lin, Y. X. Guo, W. T. Chen, P. J. Tsai etc. // The science of the Total Environment. 2018. Vol. 636. Pp. 1139—1148.
3. Air traffic assignment to reduce population noise exposure using activity-based approach / E. Ganić, O. Babić, M. Cangalović, M. Stanojević // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2018. Vol. 63. Pp. 58—71.

4. A review of road traffic barriers for low frequency noise / S. M. Fard, N. Kessissoglou, S. Samuels, M. Burgess // *Proceedings of Meetings on Acoustics*. 2013.
5. Exposure to night-time traffic noise, melatonin-regulating gene variants and change in glycemia in adults / I. C. Eze, M. Imboden, M. Foraster, E. Schaffner etc. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 12.
6. Vascik P. D., Hansman R. J. Scaling constraints for urban air mobility operations: air traffic control, ground infrastructure, and noise // *Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. 2018. Pp. 3849.
7. Burden of disease due to traffic noise in Germany / M. Tobollik, D. Plass, M. Hintzsche, J. Wothge etc. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 13. Pp. 2304.
8. Ганжа О. А., Соловьева Т. В. Применение метода главных компонент к описанию экологических процессов по регулированию качества городской среды // *Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая*. 2015. Вып. 1(37). URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.
9. Ганжа О. А., Иванова Ю. П. Оценка факторов антропогенного воздействия на экологическое состояние урбанизированных территорий // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2012. Вып. 27(46). С. 187—189.
10. Растяпина О. А. Экологическая безопасность как основа экологической политики // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2012. Вып. 27(46). С. 178—182.
11. Ганжа О. А. Оценка шумового воздействия в зонах городских транспортных пересечений на геоэкологическую среду города (на примере г. Волгограда) : дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2009. 239 с.
12. Litvinova N. A. Research of levels of noise generated by road traffic in urban areas // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019.
13. Пестрякова С. В. Метод оценки и регулирования шумового режима при обеспечении экологической безопасности крупных урбанизированных территорий : дис... канд. техн. наук. М., 1999. 166 с.
14. Дьяков А. Б., Игнатьев Ю. В., Коншин Е. П. Экологическая безопасность транспортных потоков / под ред. А. Б. Дьякова. М. : Транспорт, 1989.
15. Градостроительные меры борьбы с шумом / Г. Л. Осипов, Б. Г. Прутков, И. А. Шишкин, И. Л. Карагодина. М. : Стройиздат, 1975. 215 с.
16. Поляков А. А. Организация движения на улицах и дорогах. М. : Транспорт, 1965.
17. Черепанов В. А. Транспорт в планировке городов. М. : Стройиздат, 1981. С. 46—47.
18. Косицына Э. С., Ганжа О. А. Шумозащита как часть урбоэкологических задач в системе управления экологической безопасностью градостроительной деятельности // *Актуальные проблемы развития жилищно-коммунального хозяйства городов и населенных пунктов : сборник трудов Международной науч.-практ. конф. Москва ; Кавала ; София, 2010*.
19. Растяпина О. А. Влияние газозащитных зеленых зон на снижение концентрации оксида углерода // *Объединенный научный журнал*. 2003. № 23. С. 83—84.
20. Растяпина О. А., Сидоренко В. Ф. Эффективность защитного озеленения автомагистралей // *Проблемы и перспективы экологического строительства : программа, докл. и сообщ. Международной науч.-техн. конф.-семинара. Волгоград : ВолгГАСА, 2001. С. 77—80*.
21. Растяпина О. А. Озеленение транспортных автомагистралей // *Проблемы экологии в строительстве : программа, докл. и сообщ. Международной науч.-техн. конф.-семинара. Волгоград : ВолгГАСА, 2000. С. 46—48*.
22. Прокопенко В. В., Косицына Э. С. Метод оценки показателя комфортности объектов озеленения общего пользования как фактор совершенствования качества городской среды : монография. Волгоград, 2018. 71 с.
23. Прокопенко В. В., Косицына Э. С. К вопросу о показателе оценки средозащитных и средоформирующих функций объектов озеленения общего пользования // *Місто. Культура. Цивілізація : матер. VI Міжнарод. наук.-теорет. Інтернет-конф. (квітень 2016 р.) / редкол. : В. Ф. Харченко та ін. ; Мін-во освіти і науки України, Харківський Міськвиконком, Харківський нац. ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова. Харків, 2016. С. 243—249*.
24. Заборицкова Н. П., Пестрякова С. В. Шум города. Оценка и регулирование шумового режима селитебных территорий. М. : АСВ ; СПб. : СПбГАСУ, 2004. 112 с.

© Ганжа О. А., Куткая Н. А., Прокопенко В. В., Растяпина О. А., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Методика выбора шумозащитных мероприятий в градостроительном проектировании / О. А. Ганжа, Н. А. Куткая, В. В. Прокопенко, О. А. Растяпина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 122—133.

Об авторах:

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; SCOPUS ID: 57192668381, ganzha_olga@mail.ru

Куткая Нарсоу Адамулович — магистрант факультета архитектуры и градостроительного развития, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, Волгоград, ул. Академическая, 1; narsou_77@mail.ru

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; v.v.p_24@mail.ru

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; SCOPUS ID: 57194621394, ORCID: 0000-0001-6257-1413, o_kast@list.ru

Olga A. Ganzha, Narsou A. Kutkaya, Vyacheslav V. Prokopenko, Oksana A. Rastyapina

Volgograd State Technical University

**METHODOLOGY FOR THE SELECTION
OF NOISE PROTECTIVE ACTIONS IN URBAN PLANNING**

The authors generalize long-term scientific research in the field of studying the influence of anthropogenic factors on the quality of the urban environment. Anthropogenic factors of the urban environment — gas pollution and noise on the main and inter-main territories are considered. The systematization of urban noise sources is presented. A method for selecting noise protection measures is proposed, taking into account the value of the criterion of relative noise load and the degree of acoustic hazard, and an algorithmic scheme for selecting the optimal noise protection measures.

Key words: gas pollution, city noise, noise protection measures, quality of the environment.

For citation:

Ganzha O. A., Kutkaya N. A., Prokopenko V. V., Rastyapina O. A. [Methodology for the selection of noise protective actions in urban planning]. *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], 2020, iss. 3, pp. 122—133.

About authors:

Olga A. Ganzha — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; SCOPUS ID: 57192668381, ganzha_olga@mail.ru

Narsou A. Kutkaya — Masters' Degree student of Architecture and Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400005, Russian Federation; narsou_77@mail.ru

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.v.p_24@mail.ru

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; SCOPUS ID: 57194621394, ORCID: 0000-0001-6257-1413, o_kast@list.ru

УДК 504

Ю. П. Иванова^а, Е. В. Соколова^б, А. А. Сахарова^а, О. О. Иванова^а, В. Н. Азаров^а

^а Волгоградский государственный технический университет

^б Северо-Кавказский федеральный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКОНА ВЕЙБУЛЛА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ВЕТРА, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ГОРОДА ВОЛГОГРАДА

В статье рассмотрены метеорологические условия, характерные для линейного города Волгограда. Рассмотрены направление и скорость ветра по времени суток. Осуществлена проверка закона Вейбулла для различных скоростей ветра по различным направлениям ветра, характерных для линейного города Волгограда. Рассмотрены основные источники загрязнения атмосферного воздуха, закономерности их распределения в воздушной среде, а также влияние жилой застройки на скорость ветра.

К л ю ч е в ы е с л о в а: климат, линейный город, скорость ветра, направление ветра, закон распределения, закон Вейбулла, логарифмически нормальный закон, время суток, перенос примесей.

На распространение примесей в атмосферном воздухе оказывает влияние множество факторов, к основным из которых относятся скорость и направление ветра. В городской среде основным источником загрязнения атмосферного воздуха является автомобильный транспорт [1, 2]. Ветровой режим под воздействием жилой застройки претерпевает значительные изменения. Рассмотрим закономерности повторяемостей для скоростей ветра, характерных для линейного города Волгограда, где движение транспорта осуществляется преимущественно по трем основным магистралям: I, II и III продольным магистралям, проходящим вдоль реки Волги, в непосредственной близости к селитебным зонам [3—7]. Рядом авторов проводились исследования, касающиеся распространения повторяемости скоростей ветра, при этом было установлено практическое отсутствие взаимосвязи между направлением и скоростью ветра для повторяемости скоростей ветра г. Волгограда, а также было установлено, что распределение скорости ветра описывается законом Вейбулла [8, 9]. Однако эти исследования касались среднесуточных значений, поэтому авторами была проведена проверка подчинения повторяемости скоростей ветра для линейного города Волгограда по 8 румбам за период 2014—2018 гг. по времени суток, которая ранее никем не выполнялась. Исходные данные были получены с дневника погоды Gismeteo, ru¹. Распределение скоростей воздушного потока описывается законом Вейбулла. Интегральная функция в этом случае имеет вид:

$$F(V, k, \beta) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{\beta}\right)^k}, \quad (1)$$

где k — параметр формы распределения; β — параметр масштаба распределения; V , м/с — скорости воздушного потока.

¹ Прогноз погоды. URL: <https://rp5.ru/>

Прогноз погоды. URL: <http://www.gismeteo.ru/>

А плотность распределения задается формулой:

$$f(V, k, \beta) = \frac{k}{\beta} \left(\frac{V}{\beta} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{\beta} \right)^k} = \frac{k}{\beta^k} V^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{\beta} \right)^k}. \quad (2)$$

Проверка закона Вейбулла проводилась с помощью программы STATISTIKA 10, и была использована подгонка распределений Вейбулла (масштаб, форма), а также использовались программы Excel и Mathcad [10]. Проверка закона Вейбулла проводилась по времени суток для 8 направлений ветра. Для примера представлены полные данные расчетов, полученные по южному направлению в ночное время и юго-восточному направлению в дневное время. Это особенно важно, учитывая повышенную опасность данного направления ветра для уровня загрязнения городской атмосферы линейного города Волгограда.

В таблице 1 представлены данные итоговой статистики скорости воздушного потока V (м/с) для юго-восточного направления ветра в дневное время суток за 2014—2018 гг.

Т а б л и ц а 1

Итоговые статистики скорости воздушного потока V

Оценки параметров	Значения
Среднее значение	6,124
Дисперсия	6,029
Стандартное отклонение	2,455
Мода	6
Медиана	6
Минимальное значение	2
Максимальное значение	14
Экспесс	0,034
Асимметрия	0,562

Проверка закона Вейбулла осуществлялась с помощью критерия согласия Хи-квадрат при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Вся выборка была разбита на 15 групп, и получено наблюдаемое значение критерия $\chi^2 = 17,25$.

По таблице критических точек Хи-квадрат, по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = 12$ находим критическую точку $\chi_{кр}^2 = 21,0$. Так как $\chi^2 < \chi_{кр}^2$, то гипотеза о законе Вейбулла согласуется с экспериментальными данными.

Были получены значения параметров закона Вейбулла, а именно, $\beta = 6,9$; $k = 2,68$.

Функция плотности и интегральная функция данного распределения будут иметь вид:

$$f(V, k, \beta) = 0,015 \cdot V^{1,68} e^{-\frac{V^{2,68}}{177,058}}, F(V, k, \beta) = 1 - e^{-\frac{V^{2,68}}{177,058}}. \quad (3)$$

На рисунках 1—3 изображены характеристики функции распределения скоростей воздушного потока по юго-восточному направлению в дневное время V (м/с), построенные на основании выборки за период 2014—2018 гг. с помощью программы STATISTIKA 10 [10].

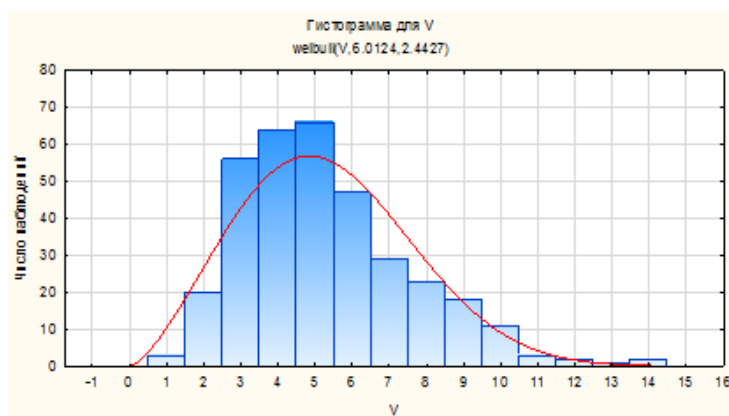


Рис. 1. Гистограмма скоростей воздушного потока

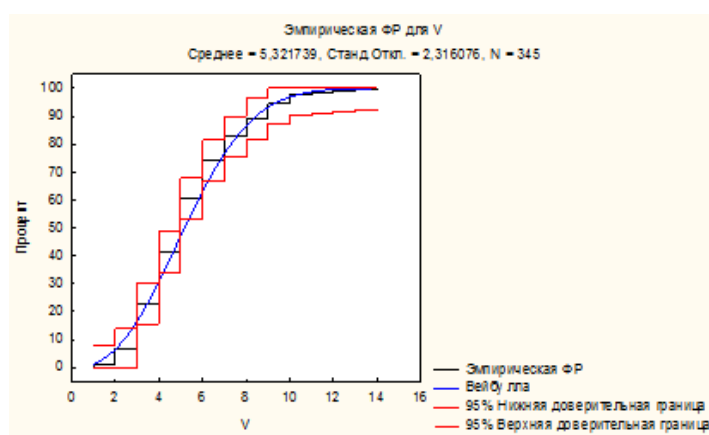


Рис. 2. Эмпирическая функция распределения скоростей ветра

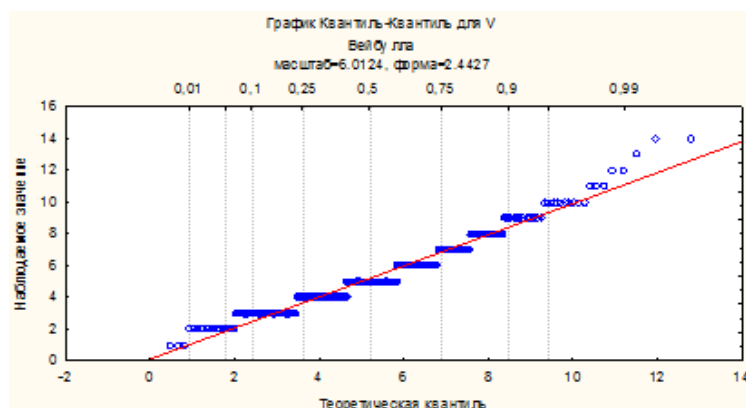


Рис. 3. Графики квантилей наблюдаемых и теоретических значений V , м/с

Проверка закона Вейбулла для южного направления в ночное время суток осуществлялась с помощью критерия согласия Хи-квадрат, при уровне значимости $\alpha = 0,05$. При разбивке выборки на 10 групп было получено наблюдаемое значение критерия $\chi^2 = 18,07$. По таблице критических точек Хи-квадрат и по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = 7$ находим критическую точку $\chi_{кр}^2 = 14,1$. Так как $\chi^2 > \chi_{кр}^2$, то гипотеза о законе Вейбулла не согласуется с исходными данными. Проверка так же показала, что гипотеза о нормальном законе не согласуется с экспериментальными данными. При разбивке на 11 групп было получено наблюдаемое значение критерия $\chi^2 = 9,35$. По таблице критических точек Хи-квадрат и по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = 8$ находим критическую точку $\chi_{кр}^2 = 15,5$. Так как $\chi^2 < \chi_{кр}^2$, то гипотеза о логнормальном законе согласуется с экспериментальными данными.

Функция плотности и интегральная функция данного распределения будут иметь вид:

$$f(V) = \frac{1}{\sigma V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln V - \ln a)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{2,162 \cdot V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln V - 1,476)^2}{9,348}};$$

$$F(V) = 0,5 + 0,5\Phi\left(\frac{\ln V - \ln a}{\sigma}\right) = 0,5 + 0,5\Phi\left(\frac{\ln V - 1,476}{2,162}\right),$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — интегральная функция Лапласа; a — среднее значение; σ — стандартное отклонение [10].

На рисунке 4 изображена гистограмма распределения логнормального закона распределения скоростей воздушного потока по южному направлению в ночное время суток периода 2014—2018 гг.

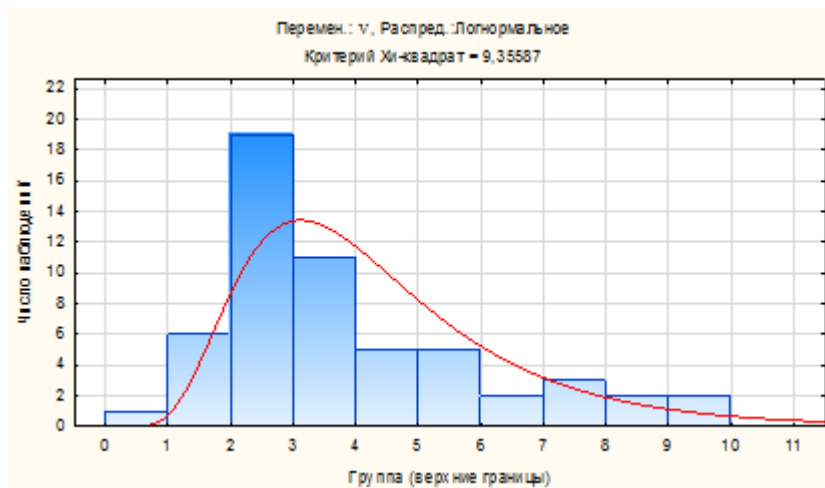


Рис. 4. Гистограмма скоростей воздушного потока

В таблицах 2, 3 приведены итоговые данные статистики скорости воздушного потока в дневное и вечернее время по 8 направлениям, за период 2014—2018 гг. соответственно.

Т а б л и ц а 2

Итоговые статистики скорости ветра в дневное время

Оценки параметров	День							
	В	З	Ю	С	С-В	С-З	Ю-З	Ю-В
Среднее значение	6,092	6,77	5,095	4,99	5,812	5,924	6,570	6,124
Дисперсия	5,023	8,029	6,682	4,31	6,273	6,492	8,011	6,029
Стандартное отклонение	2,241	2,834	2,585	2,076	2,504	2,548	2,83	2,455
Мода	5	7	5	4	5	6	6	6
Медиана	6	7	5	5	5,5	6	6	6
Минимальное значение	2	1	1	1	1	1	1	2
Максимальное значение	13	15	12	12	14	14	19	14
Эксцесс	0,690	−0,272	0,141	0,99	−0,12	−0,5	0,85	0,034
Асимметрия	0,723	0,354	0,89	0,89	0,41	0,35	0,68	0,562

Т а б л и ц а 3

Итоговые статистики скорости ветра в вечернее время

Оценки параметров	Ночь							
	С	Ю	В	З	С-З	С-В	Ю-В	Ю-З
Среднее значение	4,317	4,375	5,556	5,807	5,103	5,186	5,322	5,668
Дисперсия	4,722	4,675	5,914	7,007	5,631	5,346	5,364	7,762
Стандартное отклонение	2,173	2,162	2,432	2,647	2,373	2,315	2,316	2,786
Мода	4	3	4	5	4	4	5	4
Медиана	4	4	5	5,5	5	5	5	5
Минимальное значение	1	1	1	1	1	1	1	1
Максимальное значение	11	10	13	16	13	12	14	19
Эксцесс	0,518	0,496	0,385	0,453	−0,197	−0,37	0,799	0,927
Асимметрия	0,698	1,094	0,817	0,563	0,516	0,455	0,869	0,962

В таблице 4 данные по направлениям ветра для дня и ночи (уровень значимости — α , число степеней свободы — k , полученное наблюдаемое значение критерия χ^2 , критическая точка $\chi_{кр}^2$.

Т а б л и ц а 4

Параметры закона Вейбулла

Направление ветра	День/ночь	a	χ^2	k	$\chi^2_{кр}$	$\chi^2 < \chi^2_{кр}$	Объем выборки
Север	+/	0,05	14,01	9	16,9	+	114
Юг	+/		15,05	9	16,9	+	95
Восток	+/		12,06	9	16,9	+	65
Запад	+/		16,03	12	21	+	259
Северо-запад	+/		12,72	11	19,7	+	210
Северо-восток	+/		15,08	11	19,7	+	186
Юго-запад	+/		8,69	7	14,1	+	214
Юго-восток	+/		17,25	12	21	+	249
Север	/+		8,6	9	16,9	+	120
Юг	/+		18,07	7	14,1	—	56
			9,35	8	15,5	+	
Восток	/+		16,8	12	21,0	+	277
Запад	/+		16,61	13	22,4	+	182
Северо-запад	/+		19,585	13	22,4	+	300
Северо-восток	/+		11,61	9	16,9	+	279
Юго-запад	/+		11,19	7	14,1	+	244
Юго-восток	/+		18,65	13	22,4	+	345

Осуществленный анализ свидетельствует о том, что гипотеза о законе Вейбулла согласуются с экспериментальными данными по 8 направлениям, для дня и для 7 направлений для ночи. Были получены значения параметров закона Вейбулла (сведены в табл. 5.)

Т а б л и ц а 5

Значения параметров закона Вейбулла

№ п/п	Направление ветра	день		ночь	
		β	k	β	k
1	Север	5,62	2,54	4,88	2,11
2	Юг	5,78	2,12	—	—
3	Восток	6,83	2,9	6,28	2,44
4	Запад	7,63	2,58	6,56	2,34
5	Северо-восток	6,56	2,49	5,86	2,41
6	Северо-запад	6,69	2,52	5,77	2,30
7	Юго-восток	6,9	2,68	6,01	2,44
8	Юго-запад	7,41	2,46	6,41	2,15

Таким образом рассматривая скорость и направление ветра как случайную величину можно оценить вероятность «негативных» направлений ветра для линейного города Волгограда. Например, юго-восточных и южных направлений, которые приносят на территорию города вредные выбросы южного промузла. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что скорости воздушного потока по южному направлению ветра в ночное время за период 2014—2018 гг. подчиняется логарифмически нормальному закону распределения, а в дневное время закону Вейбулла. При всех остальных на-

правлениях ветра скорости воздушного потока по времени суток характеризуются двухпараметрическим законом Вейбулла, при этом для каждого направления параметры Вейбулла β и k различные [10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние транспортных магистралей на формирование шума в городской среде и способы его снижения / Ю. П. Иванова, Т. В. Соловьева, А. В. Дериченко, А. С. Боженкова и др. // Инженерный вестник Дона. 2020. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2020/6257.
2. Air-pollution modelling at an urban scale — Russian experience and problems Water, Air, & Soil Pollution / E. L. Genikhovich, I. G. Gracheva, R. L. Onikul, E. N. Filatova // Focus. 2002. Vol. 2. № 5—6. Pp. 501—512.
3. Балакин В. В. Методика оценки загрязнения атмосферного воздуха на улично-дорожной сети города. 2008. С. 184—189.
4. On atmosphere pollution of cities with linear configuration / J. P. Ivanova, N. S. Barikaeva, V. S. Markin, A. V. Derichenko // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. International Scientific Conference. Vol. 698.
5. Донцова Т. В., Шкляр М. А., Николенко Д. А. О возможности использования балансового метода для сводных расчетов рассеивания выбросов в атмосферу // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2770.
6. Dispersion analysis of carbon monoxide concentrations in the cities atmospheric air / J. Ivanova, E. Sokolova, V. Azarov, E. Martynova // International Scientific Conference. 2019. Vol. 138. URL: e3s_conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/64/e3sconf_catpid18_01031/e3sconf_catpid18_01031.html
7. Evaluation of the street pollution model OSPM for measurements at 12 streets stations using a newly developed and freely available evaluation tool / M. Ketzel, S. Jensen, J. Brandt, T. Elleremann etc. // J. Civil. Environ. Eng. S1:004. DOI: 10.4172/2165-784X, 2012.
8. Кузмичев А. А. Теоретические и экспериментальные исследования влияния городского атмосферного аэрозоля и параметров воздушной среды на загрязнение зданий и сооружений. 2019. 179 с.
9. Донцова Т. В. Балансовый метод оценки загрязнения воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости. 2016. 161 с.
10. Макарова Н. В., Трофимец В. Я. Статистика в Excel : учебное пособие. М. : Финансы и статистика, 2006. 368 с.

© Иванова Ю. П., Соколова Е. В., Сахарова А. А., Иванова О. О., Азаров В. Н., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Проверка выполнения закона Вейбулла для различных направлений ветра, характерных для линейного города Волгограда / Ю. П. Иванова, Е. В. Соколова, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, В. Н. Азаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 134—141.

Об авторах:

Иванова Юлия Павловна — аспирантка кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; uri26@mail.ru

Соколова Екатерина Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях, Северо-Кавказский федеральный университет. Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь ул. Пушкина 1; evsokolova050784@yandex.ru

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

Иванова Олеся Олеговна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; cokuch@mail.ru

Азаров Валерий Николаевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; SCOPUS ID: 7004170297, ptb2006@mail.ru

**Yuliya P. Ivanova^a, Ekaterina V. Sokolova^b, Anastasiya A. Sakharova^a,
Olesya O. Ivanova^a, Valerii N. Azarov^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *North-Caucasus Federal University*

CHECKING COMPLIANCE WITH WEIBULL'S LAW FOR VARIOUS WIND DIRECTIONS TYPICAL OF THE LINEAR CITY OF VOLGOGRAD

The article discusses the meteorological conditions characteristic of the linear city of Volgograd. The direction and speed of the wind by time of day are considered. Verification of the Weibull law for various wind speeds in various wind directions characteristic of the linear city of Volgograd. The main sources of atmospheric air are considered, the patterns of their distribution in the air, as well as the effect of housing on wind speed.

Key words: climate, linear city, wind speed, direction of wind, law of distribution, law Veybulla, logarithmic normal law, time of day, transfer of impurity.

For citation:

Ivanova Yu. P., Sokolova E. V., Sakharova A. A., Ivanova O. O., Azarov V. N. [Checking compliance with Weibull's law for various wind directions typical of the linear city of Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 3, pp. 134—141.

About authors:

Yuliya P. Ivanova — Postgraduate student of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ypi26@mail.ru

Ekaterina V. Sokolova — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Emergency Protection Department, North-Caucasus Federal University. 1, Pushkina st., Stavropol, 355017, Russian Federation; evsokolova050784@yandex.ru

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

Olesya O. Ivanova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; cokuch@mail.ru

Valerii N. Azarov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; SCOPUS ID: 7004170297, ptb2006@mail.ru

УДК 504.064.2.001.18

Б. Х. Санжапов, Р. Б. Санжапов

Волгоградский государственный технический университет

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

В статье предлагается подход к определению варианта эксплуатации автомобильной дороги на основе обеспечения экологической безопасности атмосферы ее придорожной территории. Неопределенность исходных сведений моделируется при использовании методов нечеткой логики. Применяется вывод Сугено как наиболее приемлемый при учете специфики экологической информации. Приводится иллюстративный пример.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, ранжирование альтернатив, экологическая безопасность, управление эксплуатацией автомобильной дороги.

Введение

Значительное влияние на загрязнение атмосферного воздуха города, особенно крупного, оказывает транспорт, в том числе и автомобильный. В такой постановке задачи помимо химических загрязнителей атмосферы воздуха необходимо рассматривать взвешенные частицы (ВЧ), обозначаемые как РМ (particulate matter) и представляющие собой широко распространенный загрязнитель атмосферного воздуха, включающий смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. К показателям, которые обычно используются для характеристики РМ и имеют значение для здоровья, относится массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм — РМ₁₀ (РМ₁₀). Более крупные частицы — взвешенные вещества, обозначаемые как ВВ, имеют диаметр до 50 мкм [1—3]. При оценке значения показателей качества воздуха обычно также используются значения концентраций диоксида азота NO₂, диоксида серы SO₂, оксида углерода СО и другие. Это и обуславливает необходимость комплексного рассмотрения загрязняющих атмосферу придорожной территории веществ с целью обеспечения экологической безопасности прилегающей городской территории.

Загрязнение воздушной среды автотранспортом

Выбрасываемые в окружающую среду (ОС) двигателем отработавшие газы содержат оксид углерода (СО), углеводороды (СхНу), оксиды азота (NOх), бенз(а)пирен, альдегид, сажу и другие вещества. Картерные газы — это смесь части отработавших газов, проникшей через неплотности поршневых колец в картер двигателя с парами моторного масла. Топливные испарения поступают в окружающую среду из системы питания двигателя: стыков, шлангов и т. д. Сортировка главных составляющих выброса карбюраторного двигателя следующие: отработавший газ содержит около 96 % СО, 55,1 % СхНу и 97,9 % NOх, картерный газ — до 5,1 % СхНу, 2,2 % NOх, а топливное испарение — до 41 % СхНу [1]. Таким образом, рассеивание примесей в воздушном бассейне вследствие эксплуатации автотранспорта является неотъемлемой частью процесса загрязнения городской ОС. Уровень загрязненности воздушной среды токсичными веществами зависит от возможностей пе-

реносов рассматриваемого загрязняющего вещества на огромные расстояния, степени их химической активности, метеорологического условия распространений. Поэтому целесообразно детально рассмотреть процесс и условия распространения этих загрязняющих веществ (ЗВ) — продуктов выброса автотранспорта в ОС.

Кроме того, помимо загрязнения воздушной среды частицами отработавшего газа в твердом агрегатном состоянии также наблюдаются другие источники загрязнения воздуха твердыми частицами, такие как пыль от износов шин (около 2 кг в год от 1 автотранспорта), тормозных колодок и дисков сцепления автотранспорта, продуктов износа поверхностей дороги. Вследствие износа автопокрышки наблюдается поступление в воздух следующих металлов: алюминия, кобальта, меди, железа, марганца, свинца, никеля, титана, цинка. Пылевидные и более крупные частицы, образующиеся по причине истирания поверхностей покрытий автодорог, представляют наибольший объем. Изнашивание тормозной прокладки автотранспорта и истирание асфальтобетонного покрытия, содержащего асбест, представляют также большую опасность для здоровья людей из-за выделения асбестовой пыли.

Федеральный Закон «Об охране атмосферного воздуха» является одним из основных документов при исследовании проблемы экологической безопасности¹. В дальнейшем будем использовать основные понятия и определения, сформулированные в этом законе. Центральным понятием, характеризующим экологическую безопасность, является качество атмосферного воздуха — совокупность свойств атмосферы, определяющих степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растения и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом². Нормативами качества атмосферного воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ в атмосфере. Основные термины и определения, касающиеся показателей загрязнения атмосферы, поведения примесей в атмосферном воздухе, также определены ГОСТ 17.2.1.03—84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения»³.

В Российской Федерации используются ряд показателей загрязнения окружающей среды, например предельно допустимая концентрация (ПДК) — концентрация примеси, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни, устанавливается Минздравсоцразвития Российской Федерации — гигиенические нормативы

¹ Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/.

² ГОСТ 17.2.1.03—84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения». URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/20758/>.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338—03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 31 мая 2003 г.). URL: <http://mhts.artinfo.ru/biblio/SNIPS/gigien-normy/2.1.6.1338-03/2.1.6.>

³ Там же.

ГН 2.16.1338—03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»⁴.

Для исследования режимов эксплуатации автомобильной дороги (АД) довольно часто рассматривают три показателя качества воздушной среды:

- 1) стандартный индекс — СИ и др. — наибольшая измеренная максимальная разовая концентрация загрязняющего вещества, деленная на значение ПДК;
- 2) наибольшая повторяемость превышения, %, ПДК за месяц или за год — НП;
- 3) ИЗА — совокупный индекс загрязнений воздуха, который учитывает различные примеси.

На ранней стадии анализа режимов функционирования АД довольно сложно прогнозировать значения СИ и НП, поэтому в ряде случаев используется значение ИЗА. Величину ИЗА рассчитывают на основе значений среднегодовых концентраций загрязняющих веществ (ЗВ). Поэтому данные показатели характеризуют степень длительности загрязнений воздушного бассейна, в частности от воздействия АД.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) позволяет выявить, во сколько раз суммарный уровень загрязнения воздуха несколькими примесями превышает допустимое значение. Для этого уровни загрязнения различными веществами приводят к уровню загрязнения одним каким-либо веществом (обычно диоксидом серы). Это приведение осуществляется с помощью показателя степени C_i (табл. 1). Индекс загрязнения атмосферы для i -го вещества (ИЗА) рассчитывается по формуле:

$$I_i = \left(\frac{q_{\text{ср.}i}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}} \right)^{C_i},$$

где $q_{\text{ср.}i}$ — средняя за месяц, сезон, год концентрация отдельной примеси, с номером i ; $\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}$ — среднесуточная предельно допустимая концентрация этой же примеси i .

Вещества делятся на следующие классы опасности:

- **1-й класс** — чрезвычайно опасные;
- **2-й класс** — высоко опасные;
- **3-й класс** — опасные;
- **4-й класс** — умеренно опасные.

Для веществ различных классов опасности получены следующие значения C_i (табл. 1)⁵:

Т а б л и ц а 1

Значение коэффициентов C_i

Класс опасности	1	2	3	4
C_i	1,7	1,3	1,0	0,9

⁴ Там же.

⁵ РД 52.04.667—2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению».

Для рассмотрения всех веществ, загрязняющих окружающую среду, при использовании вещества третьего класса опасности (диоксид серы), запишем ИЗА, учитывающий n веществ, в следующем виде:

В таблице 2 приведена градация уровня загрязнения атмосферы при использовании ИЗА и соответствующие численные показатели⁶. Применение значения ИЗА для ранжирования вариантов эксплуатации существующей АД, оцениваемых одной и той же лингвистической градацией (соответствующим интервалом значений показателя), довольно ограничено. Это обусловлено чувствительностью значения ИЗА к входным данным. Поэтому представляет интерес исследование задачи упорядочения объектов при использовании методов и подходов, которые менее чувствительны к изменениям значений входных данных.

Т а б л и ц а 2

Оценка уровня загрязнений атмосферного воздуха (ИЗА)

Классификация	Загрязнение воздуха	Значение показателя
1	Низкое	0...5
2	Повышенное	5...7
3	Высокое	7...14
4	Очень высокое	> 14

В качестве такого аппарата выбран аппарат теории нечетких множеств, принятия решений [4, 5]. В работе расчет распространения ЗВ, за исключением ВВ и РМ₁₀, осуществляется на основании утвержденной методики⁷. Существующие методики расчета продвижения ЗВ предусматривают точные значения параметров модели, поэтому их применение на ранней стадии исследования режима функционирования АД, особенно в случае их лингвистического описания, довольно затруднительно⁸ [6, 7]. Отсутствие общепринятой методики расчета распространения ВЧ РМ₁₀ и ВВ обуславливает разработку новых подходов для прогнозирования значений их концен-

⁶ Там же.

ГОСТ 17.2.1.03—84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения». URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/20758/>.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338—03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 31 мая 2003 г.). URL: <http://mhts.artinfo.ru/biblio/SNIPS/gigien-normy/2.1.6.1338-03/2.1.6>.

⁷ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». URL: <https://rg.ru/2017/08/14/minprirodi-prikaz273-site-dok.html>.

⁸ AERMOD Modeling System // United States Environmental Protection Agency. URL: http://www3.epa.gov/ttn/scram/dis_pers_ion_prefrec.htm#aermod.

CALPUFF Modeling System // United States Environmental Protection Agency. URL: http://www3.epa.gov/ttn/scram/dis_pers_ion_prefrec.htm#calpuff.

Copert 4. Emission SA. URL: <http://emission.com/copert>.

CALINE 4 Manual — Analysis Tools — Caltrans HQ Air Quality. State of California. URL: <http://www.dot.ca.gov/hq/env/air/pages/calinemn.htm>.

траций при рассмотрении вариантов реализации проекта автомобильной дороги. В настоящей работе для оценки концентраций PM_{10} и ВВ предлагается использовать методы и подходы нечеткой логики [4, 5]. В дальнейшем рассчитанная таким образом информация будет использоваться в методике поддержки принятия решений — ранжировании альтернатив: вариантов реализации проекта сооружаемой АД, а также применяться при выборе варианта эксплуатации существующей АД.

Проектирование развития и эксплуатации урбанизированных территорий вблизи АД основывается в некоторых случаях на информации, носящей качественный характер и задаваемой в том числе в виде экспертных оценок.

Экспертные оценки отражают субъективное мнение специалистов в данной предметной области — экспертов. Они задаются как в количественном, так и в качественном виде. Поэтому при реализации последнего случая возникают трудности с количественной интерпретацией полученных качественных результатов для их использования в системах принятия решений. В связи с этим необходима разработка информационной поддержки принимаемых решений на основе использования методов обработки информации и компьютерных технологий.

Лингвистический подход к анализу учета загрязнения атмосферы ОС

Одной из основных задач поддержки принятия решений в этой ситуации является ранжирование объектов — вариантов реализации проектов АД или способов управления существующей АД. В предложенном подходе ранжирования объектов будем использовать следующие обозначения численных показателей: транспортного потока x_1 — интенсивность движения транспортного потока (количество автомобилей/час — авт./ч), природно-климатологических факторов — скорость ветра в различные промежутки времени — x_2 (м/с) и относительная влажность воздуха — x_3 , %.

Исходная информация, описывающая характеристики АД и внешней среды, обычно задается в виде лингвистического описания. Таким образом, ввиду сложности получения точной количественной информации, особенно на ранней стадии исследования проекта АД или режима ее эксплуатации, целесообразно использовать качественные показатели для представления количественных характеристик транспортного потока и характеристик внешней среды. Обозначим их как X_1 — интенсивность движения, X_2 — скорость ветра, X_3 — влажность воздуха.

Эти показатели рассматриваются как лингвистические переменные с соответствующими терм-множествами T_1 , T_2 , T_3 , которые представляются как $T_1 = T_2 = T_3 = \{\text{незначительная, низкая, средняя, высокая, очень высокая}\}$ [4, 5].

Концентрации PM_{10} и ВВ при разных режимах эксплуатации АД рассчитываются на основе статистического материала, содержащего около 800 замеров. Будем считать, что экологическую безопасность придорожной территории в этом случае будут характеризовать лингвистические переменные Y_1 — концентрация ПДК PM_{10} , Y_2 — концентрация ПДК ВВ. Терм-множество лингвистической переменной ЗВ $T_{PM10} = \{\text{отсутствует, низкое, среднее, высокое, недопустимое}\}$. Аналогично представляется терм-множество ЗВ ВВ — $T_{ВВ} = T_{PM10}$.

Существующие подходы оценки экологического состояния придорожной территории требуют знания точного значения коэффициентов входящих в формулы выражений. Например, общепринятая методика оценки уровня эко-

логической безопасности автомобильной дороги с использованием критерия экологической безопасности определяется как:

$$P = (\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2, \dots, \alpha_m \cdot S_m) \text{ (баллы)},$$

где m — количество измеряемых параметров; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ — коэффициенты весомости (значимости) i -го измерителя воздействия на окружающую среду на этапах жизненного цикла дороги; $S_1, S_2, \dots, S_m$ — значения степеней соответствия отдельных измерителей воздействия на окружающую среду природоохранным или другим нормативным требованиям (баллы). В общем случае довольно сложно дать точные оценки значениям коэффициентов весомости $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, а также следует учесть, что сужение непрерывных значений $S_1, S_2, \dots, S_m$ до дискретных величин делает ограничительным применение этой методики при решении задач оценки вариантов реализации проекта автодороги на ранней стадии их исследования. Поэтому целесообразно использовать подходы, которые не требуют знания численных значений $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, а оценки $S_1, S_2, \dots, S_m$ носят непрерывный характер. Как указывалось выше, применение значения ИЗА также довольно затруднительно.

Будем рассматривать множество вариантов эксплуатации АД, каждый из которых является допустимым при использовании в качестве критерия оценки значения ИЗА. Поэтому объективно возникает задача выбора наиболее приоритетного. Использование ИЗА сопряжено с невысокой степенью точности оценки вариантов ввиду чувствительности вычислений при изменениях входных переменных. Таким образом, будем считать в дальнейшем, что термножества лингвистических переменных содержания загрязняющих веществ общим количеством n представляются множествами, состоящих из m элементов. Без ограничения общности предлагаемый методологический подход будем излагать для ЗВ: NO_2 , CO , SO_2 , PM_{10} , BB . Их термножества будут представляться как $T_{3,в} = \{\text{отсутствует, низкое, среднее, высокое, недопустимое}\}$, элементы которых определяются как нечеткие множества на соответствующих универсальных множествах. Сами значения градаций упорядочены по важности: оценка «отсутствует» предпочтительней оценок «низкое», «среднее» и т. д., то есть на множестве градаций определен линейный порядок. Знание численных значений коэффициентов важности каждой градации не является необходимым, достаточно выполнения условия $\alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_m$. На рисунке 1 изображены функции принадлежности для следующих ЗВ: NO_2 , CO , SO_2 , PM_{10} , BB в расчете на единицу ПДК.

В работе для описания характеристики (АТП) используется, как указывалось выше, лингвистическая переменная: X_1 — интенсивность движения с соответствующим термножеством $T_1 = \{\text{незначительная, низкая, средняя, высокая, очень высокая}\}$, в качестве базовой переменной — численное значение из соответствующего универсального множества (количество автомобилей в час). В качестве природно-климатологических факторов рассматриваются следующие: скорость ветра в различные промежутки времени и относительная влажность воздуха, которые представляются лингвистическими переменными X_2 и X_3 , имеющими соответственно термножества T_2 и T_3 , здесь полагается, что $T_1 = T_2 = T_3$ с соответствующими базовыми переменными (м/с и %). Функции принадлежности для элементов термножеств T_1, T_2, T_3 представлены на рис. 2—4.

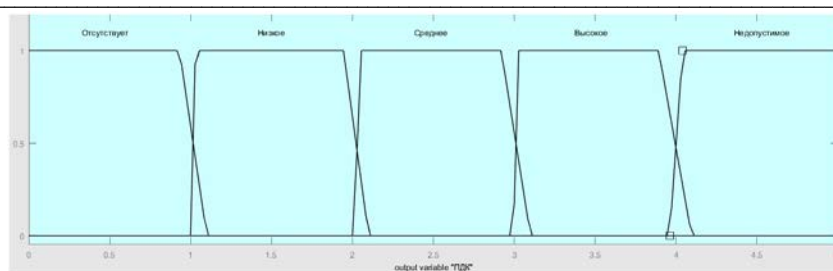


Рис. 1. Функции принадлежности для лингвистических переменных ЗВ: NO_2 , CO , SO_2 , PM_{10} , BV в расчете на единицу ПДК

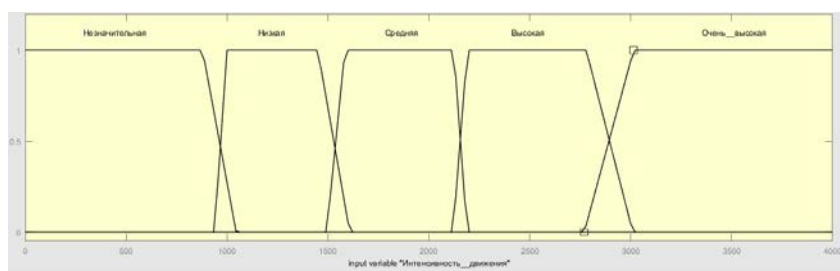


Рис. 2. Функции принадлежности для лингвистической переменной «Интенсивность движения» (количество автомобилей/час)

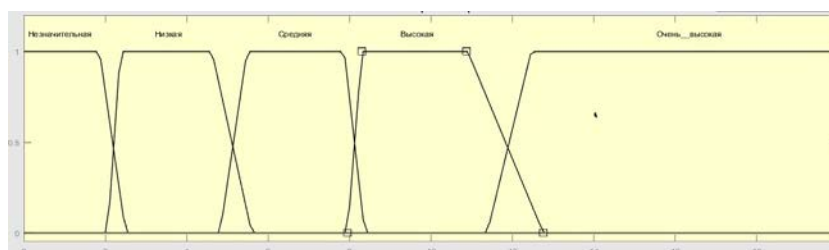


Рис. 3. Функции принадлежности для лингвистической переменной «Скорость ветра» (м/с)

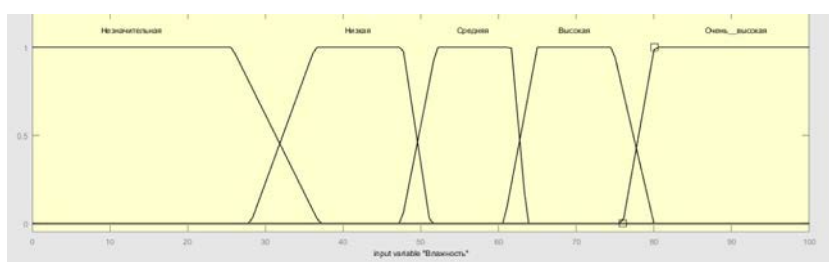


Рис. 4. Функции принадлежности для лингвистической переменной «Относительная влажность воздуха», %

Для представления информации используется нечеткая база Сугено, фрагмент которой для ЗВ PM_{10} представлен ниже.

IF $[x_1 \text{ is «Высокая»} \& x_2 \text{ is «Средняя»} \& x_3 \text{ is «Высокий»}]$ THEN $y_1 = 0,49 \text{ (мг/м}^3\text{)}$.
IF $[x_1 \text{ is «Средняя»} \& x_2 \text{ is «Средняя»} \& x_3 \text{ is «Низкий»}]$ THEN $y_1 = 0,28 \text{ (мг/м}^3\text{)}$.

На все функции принадлежности $\mu_i^j(y_j)$, характеризующие оценку загрязнения, наложены естественные ограничения:

$$\sum_{j=1}^m \mu_i^j(y_j) = 1, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n},$$

как и выше, n — число рассматриваемых ЗВ; m — количество элементов в каждом терм-множестве ЗВ.

В такой постановке и при сделанных допущениях каждый вариант a реализации режима управления автодорогой характеризуется распределенной оценкой $\gamma_a = (\gamma_1^a, \gamma_2^a, \dots, \gamma_m^a)$. Для обработки такой информации используется метод [8], в результате применения которого вычисляются матрицы преимущества и эквивалентности объектов (вариантов эксплуатации АД). В общем случае такая матрица не позволяет проранжировать исходное множество вариантов, так как исходная информация базируется на экспертных оценках и не является в общем случае транзитивной. Для вычисления окончательного упорядочения объектов — вариантов эксплуатации автодороги используется метод [9].

Пример расчета

Пусть имеется 6 вариантов эксплуатации АД. Значения концентраций ЗВ: CO, NO₂, SO₂ рассчитываются на основе утвержденной методики⁹, а PM₁₀, BV — на основе использования методов нечеткой логики. Значения концентрации ЗВ: NO₂, CO, SO₂, PM₁₀, BV для 1 варианта представляются в виде набора чисел (0,21; 5,28; 0,54; 0,35; 0,52) (мг/м³) соответственно. Оценка альтернативы — первого варианта эксплуатации АД — определяется из зависимостей, представленных на рис. 1, при пересчете на конкретные значения ПДК для каждого ЗВ. Для этого варианта оценка значений загрязнения представляется в виде матрицы, столбцы которой характеризуют распределенную оценку — меру соответствия численного значения концентрации каждого ЗВ соответствующим элементам терм-множеств:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0,50, 70,60, 40,8 \\ 0,50, 30, 40,60, 2 \\ 00000 \\ 00000 \\ 00000 \end{pmatrix}.$$

Распределенная обобщенная оценка первой альтернативы рассчитывается как:

$$\gamma_1 = \left\{ 0,6 = \frac{(0,5 + 0,7 + 0,8 + 0,4 + 0,8)}{5}; 0,4 = \frac{(0,5 + 0,3 + 0,4 + 0,6 + 0,2)}{5}; 0; 0; 0 \right\}.$$

Аналогично вычисляются распределенные оценки оставшихся пяти альтернатив. Оценки ЗВ для всех шести альтернатив запишем в виде матрицы,

⁹ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». URL: <https://rg.ru/2017/08/14/minpriodi-prikaz273-site-dok.html>.

каждый столбец которой представляет распределенную обобщенную оценку альтернативы по выбранной шкале. Заметим, распределенная обобщенная оценка первой альтернативы $\gamma_1 = \{0,6;0,4;0;0;0;0\}$ составляет первый столбец этой матрицы:

$$P = \begin{pmatrix} 0,6 & 0 & 1 & 0 & 0,3 & 0,7 \\ 0,4 & 0,4 & 0 & 0 & 0,7 & 0,3 \\ 0 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Вычисленная на основе алгоритма Жаке-Лагреза матрица отношения предпочтения B примет вид:

$$B = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,8 & 0,3 & 1 & 0,65 & 0,45 \\ 0,2 & 0,5 & 0 & 1 & 0,2 & 0,15 \\ 0,7 & 1 & 0,5 & 1 & 0,85 & 0,65 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,35 & 0,8 & 0,15 & 1 & 0,5 & 0,3 \\ 0,55 & 0,85 & 0,35 & 1 & 0,7 & 0,5 \end{pmatrix}.$$

На основании применения метода ранжирования альтернатив [9] получено следующее упорядочение объектов в порядке убывания их важности: $\{3\}, \{6\}, \{1\}, \{5\}, \{2\}, \{4\}$. Вычисленные значения весов, необходимые для оценки значимости альтернативных вариантов, следующие: $v_3 = 1$, $v_6 = 0,95$, $v_1 = 0,85$, $v_5 = 0,7$, $v_2 = 0,5$, $v_4 = 0$.

Заключение

Предложенный подход к исследованию вопроса упорядочения вариантов эксплуатации автодороги в условиях неполноты информации позволит учесть неопределенность в оценке влияния загрязняющих веществ на экологию атмосферы придорожной территории. Это позволит учесть распространение взвешенных частиц, для расчета продвижения которых отсутствуют утвержденные методики. Разработанный методологический подход позволит определить наиболее приоритетный вариант эксплуатации автодороги исходя из решения проблемы обеспечения экологической безопасности придорожной территории города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родзевич Н. Н. Геоэкология и природопользование : учебник для вузов. М. : Дрофа, 2003. 256 с.
2. Ketzel M., Berkowicz R., Lohmeyer A. Comparison of numerical street dispersion models with results from wind tunnel and field measurements // Proceedings 2nd International Conference on Urban Air Quality. Madrid, 1999. Pp. 207—213.
3. Беккер А. А., Агаев Т. Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. 286 с.
4. Sanzhapov B. Kh., Rashevskij N. M., Sinicyn A. A. Analysis of Availability of Data Sets Necessary for Decision Making in Air Quality Assessment // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. Vol. 262. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012187/pdf>.

5. Санжапов Б. Х., Мурадов А. А., Санжапов Р. Б. Оценка риска реализации программы стратегического развития урбанизированной территории // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 32(51). С. 289—294.

6. Zadeh L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibilities // Fuzzy Sets and Systems. 1978. Vol. 1. Pp. 3—28.

7. Zadeh L. A. The Linguistic Approach and its Application to Decision Analysis / Ed.: Y. G. Ho, S. K. Mitter // Directions in Large — Scale Systems. New-York : Plenum Press, 1976. Pp. 335—361.

8. Jacquet-Lagrange E. Modelling Preferences among Distributions using Fuzzy Relations // The Fifth Research Conference on Subjective Probability, Utility and Decision Making. Darmstadt, Sept. 1—4, 1975.

9. Sanzhapov B. Kh., Sanzhapov R. B. Ordering Objects on the Basis of Potential Fuzzy Relation for Group Expert Evaluation/B.Kh. Sanzhapov // Engineering and applied Sciences. 2016. Vol. 11. No. 13. Pp. 8544—8548.

© Санжапов Б. Х., Санжапов Р. Б., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Санжапов Б. Х., Санжапов Р. Б. Поддержка принятия решений при оценке экологической безопасности эксплуатации автомобильной дороги // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 142—151.

Об авторах:

Санжапов Булат Хизбуллович — д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой математики и информационных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, SCOPUS ID: 6506055275, sbkh@mail.ru

Санжапов Ринат Булатович — ведущий программист кафедры математики и информатики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; SCOPUS ID: 57190187780, rinat93@lenta.ru

Bulat Kh. Sanzhapov, Rinat B. Sanzhapov

Volgograd State Technical University

SUPPORTING DECISION-MAKING FOR ESTIMATION THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF ROAD OPERATION

The article proposes an approach to determining the option of operating a road based on environmental safety of the atmosphere of its roadside territory. The uncertainty of the initial information is modeled using fuzzy logic methods. Sugeno's conclusion is used as the most acceptable when taking into account the specifics of environmental information. An illustrative example is provided.

Key words: decision support, ranking alternatives, environmental safety, road management.

For citation:

Sanzhapov B. Kh., Sanzhapov R. B. [Supporting decision-making for estimation the environmental safety of road operation]. *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], 2020, iss. 3, pp. 142—151.

About authors:

Bulat Kh. Sanzhapov — Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor, the Head of Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; SCOPUS ID: 6506055275, sbkh@mail.ru

Rinat B. Sanzhapov — Lead programmer of Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; SCOPUS ID: 57190187780, rinat93@lenta.ru

УДК 699.86

С. В. Корниенко

Волгоградский государственный технический университет

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГАЗОБЕТОННЫХ СТЕН ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

По результатам испытаний фрагмента кладки стен из автоклавных газобетонных блоков в климатической камере установлено, что данные ГОСТ 31359—2007 по теплопроводности ячеистых бетонов неприменимы для оценки теплотехнического состояния стен при эксплуатационных условиях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гражданское строительство, здание, теплопроводность, равновесная влажность, автоклавный газобетонный блок, стеновая конструкция, климатическая камера, лабораторный анализ, эксплуатационные условия, энергосбережение.

Введение

Стеновые изделия из ячеистого бетона автоклавного твердения находят широкое применение в современном строительстве [1—5]. По сравнению с бетонными блоками плотность газобетона ниже примерно в четыре раза, а термическое сопротивление выше в 11 раз [6]. Строительство из газобетонных блоков в условиях жаркого сухого климата снижает потребление энергии в жилом секторе на 7 % [6]. Газобетонные стены имеют высокие экологические характеристики [7]. Широкое применение в производстве автоклавного газобетона промышленных отходов позволяет получить материал с необходимыми тепловлажностными характеристиками [8], уменьшить теплопроводность [2, 9], повысить теплоемкость [10], улучшить капиллярно-пористую структуру материала [11], получить высокий энергосберегающий эффект и снизить объем выбросов CO₂ в атмосферу [12], повысить влагозащитные свойства конструкций [13, 14]. Утилизация отходов при производстве газобетона позволяет значительно сократить количество городских свалок [15].

Однако как показано в [16], даже в условиях умеренно-континентального климата России применение однослойных газобетонных стен с наружным штукатурным слоем и двухслойных конструкций с кирпичной облицовкой несет теплотехнические риски, обусловленные существенным влиянием на теплозащиту зданий краевых зон. Такие конструкции без дополнительной теплоизоляции практически не имеют резерва по тепловой защите и энергосбережению. Для снижения теплотехнических рисков при проектировании зданий следует прежде всего совершенствовать конструктивное решение краевых зон. Другим мероприятием для повышения уровня теплозащиты зданий является применение дополнительной теплоизоляции по всей плоскости стены.

Приведенный выше краткий обзор литературы показывает чрезвычайную важность проблемы обеспечения высокого теплового комфорта в помещениях при минимальных энергетических затратах [16, 17]. Потери теплоты через наружные ограждающие конструкции, расход тепловой энергии в зда-

нии и его энергетическая эффективность, а также качество микроклимата в эксплуатируемых помещениях существенно зависят от теплопроводности материалов и изделий, применяемых в составе наружных ограждающих конструкций. Однако часто фактические и проектные энергетические характеристики зданий не совпадают. Одной из причин несоответствия вводимых в эксплуатацию зданий проектным показателям их энергопотребления и энергетической эффективности является расхождение заявленных и фактических теплофизических свойств материалов.

В работе [18] показано, что производители строительных материалов для достижения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций часто искусственно занижают экспериментальные значения теплопроводности материалов. В этой связи возникает необходимость комплексного исследования свойств строительных материалов, в том числе ячеистых бетонов автоклавного твердения.

Предмет и методы исследования

Предметом исследования является фрагмент кладки толщиной 150 мм из автоклавных газобетонных блоков марки D500 по средней плотности. Выбор марки изделий обусловлен их широким применением на отечественном рынке. Кладка блоков выполнена на клеевом составе, средняя толщина шва 2 мм. В этом случае удельные добавочные потери теплоты через швы кладки равны нулю и фрагмент кладки можно рассматривать как плоский теплозащитный элемент (гладь стены), в котором швы кладки не оказывают влияния на теплопроводность кладки.

С целью изучения тепловлажностных характеристик газобетонных стен проведено комплексное исследование, основу которого составляет эксперимент в климатической камере [13]. Условия проведения эксперимента максимально приближены к реальным условиям эксплуатации ограждающих конструкций. Это позволяет определить теплопроводность кладки в широком диапазоне влажности. Климатическая камера состоит из теплого и холодного отсеков, разделенных испытываемой конструкцией (рис. 1). Методы определения эквивалентной теплопроводности и сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в климатической камере основаны на создании в конструкции условий стационарного теплового режима и измерении температуры внутреннего и наружного воздуха, температуры поверхностей конструкции, а также плотности теплового потока, проходящего через нее, по которым вычисляют искомые теплотехнические характеристики.

Испытания фрагмента проведены в течение 66 часов. Этого времени достаточно для создания установившегося влажностного режима ограждения. В процессе эксперимента осуществлялся контроль температуры на поверхностях образца: в теплом отсеке — 20 °С, в холодном отсеке — минус 20 °С. Средняя температура образца около 0 °С. Плотность теплового потока через образец равна 74,1 Вт/м².

После проведения испытаний в климатической камере проведено исследование распределения влажности по толщине фрагмента кладки путем послойного отбора проб (рис. 2) и их последующего лабораторного анализа согласно РМД 51-25—2015.



Рис. 1. Общий вид климатической камеры [13]



Рис. 2. Отбор проб из фрагмента стеновой конструкции [13]

Результаты испытаний

Распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента стеновой конструкции показано на рис. 3. Начало координат совпадает с внутренней поверхностью образца. Среднее влагосодержание образца вычислено по формуле:

$$w_{\text{ср}} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} w(x) dx, \quad (1)$$

где δ — толщина образца.

Несмотря на то, что распределение влажности по толщине испытываемого фрагмента кладки, представленное на рис. 3, получено для условной (модельной) кладки толщиной 150 мм, данное распределение является показательным с точки зрения качественного отображения основных особенностей влажностного режима реальных стеновых ограждений. Как видно из графика (рис. 3), плоскость наибольшего увлажнения кладки находится на расстоянии 2/3 ее толщины при отсчете от внутренней поверхности испытываемого фрагмента, т. е. коррелирует с нормативно-справочными данными.

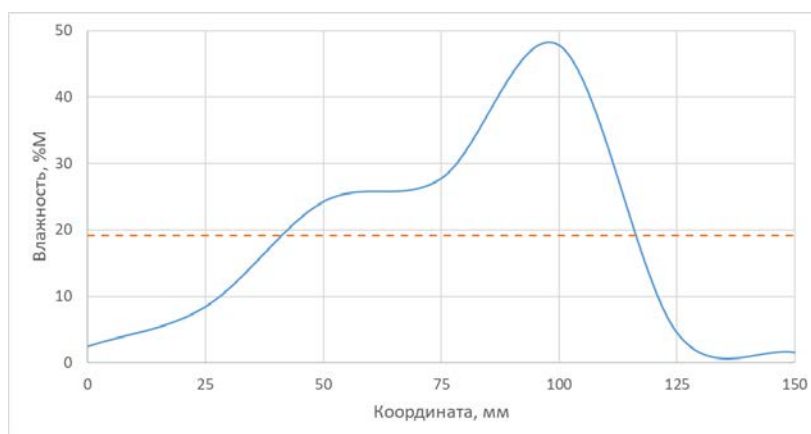


Рис. 3. Распределение влажности по толщине фрагмента стеновой конструкции из газобетонных блоков (сплошная линия — послойное определение влажности; пунктир — средняя влажность по толщине образца)

Нулевая изотерма делит конструкцию примерно на две равные зоны — с положительной и отрицательной температурами. Кривофазная влага занимает значительный объем образца и создает малопроницаемый для водяных паров барьер, являясь главной причиной накопления влаги перед ним. В наружном поверхностном слое происходит сушка кладки. Зависимость теплопроводности от влажности газобетона D500 представлена на рис. 4.

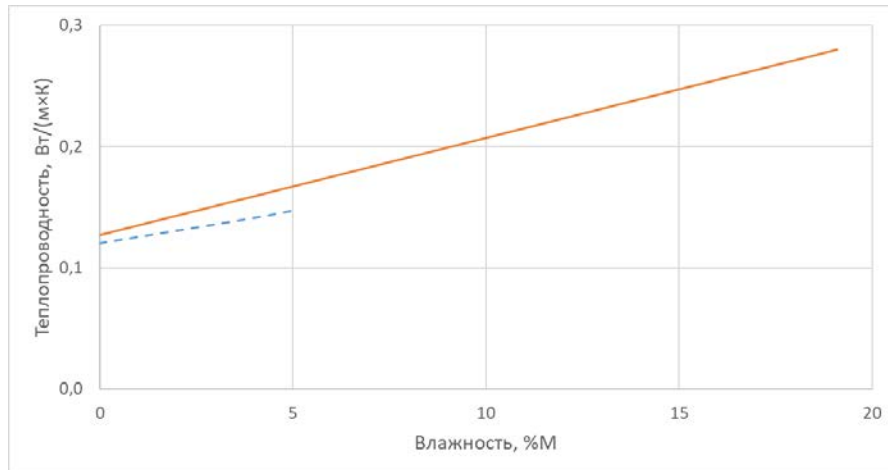


Рис. 4. Зависимость теплопроводности от влажности газобетона D500 (сплошная линия — по итогам испытаний; пунктир — согласно ГОСТ 31359—2007)

Начальная влажность ячеистого бетона, измеренная перед проведением испытаний фрагмента кладки в климатической камере, составляет 5,7 % по массе (% М). Средняя влажность испытываемого фрагмента кладки после окончания эксперимента составляет 19,1 %. Таким образом, прирост влаги в образце за время испытаний в климатической камере равен 13,4 %.

По результатам испытаний в климатической камере термическое сопротивление фрагмента кладки: $R = 0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Эквивалентная теплопроводность кладки при данных условиях составляет:

$$\lambda = \frac{\delta}{R} = \frac{0,15}{0,54} = 0,28 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}).$$

Согласно экспериментальным данным [13], теплопроводность кладки в сухом состоянии равна 0,127 Вт/(м · К).

Зависимость теплопроводности кладки от влажности может быть представлена в следующем виде:

$$\lambda(w) = 0,08w + 0,127. \quad (2)$$

График зависимости теплопроводности от влажности газобетона, построенный на основании формулы (2), показан сплошной линией на рис. 4.

Полученная нами на основе результатов экспериментальных исследований в климатической камере линейная функция (2) является одной из форм аппроксимации зависимости теплопроводности от влажности материала. Главной особенностью этой зависимости является то, что она, в отличие от

ГОСТ 31359—2007, характеризует изменение теплопроводности в широком интервале влажности. Следовательно, указанную зависимость можно использовать для оценки теплотехнических характеристик газобетонных стен при эксплуатационных условиях, т. е. при различном сочетании влажностно-климатических зон и влажностного режима эксплуатации помещений.

Линейная зависимость $\lambda(w)$, построенная по результатам испытаний в климатической камере, может быть обоснована путем рассмотрения модели влажного пористого материала.

Влажный материал — тело неоднородное. Оно состоит из различных компонентов: твердой матрицы и пор (рис. 5). Поры материала могут быть заполнены влажным воздухом, жидкой влагой и льдом. Теплопроводность влажного материала зависит от теплопроводности твердой матрицы, содержания влаги в различных фазах (включая пленочную влагу, обладающую особыми свойствами), фазовых изменений, условий тепло- и массообмена с окружающей средой. Особенности пористой структуры определяют большую изменчивость теплофизических свойств строительных материалов.

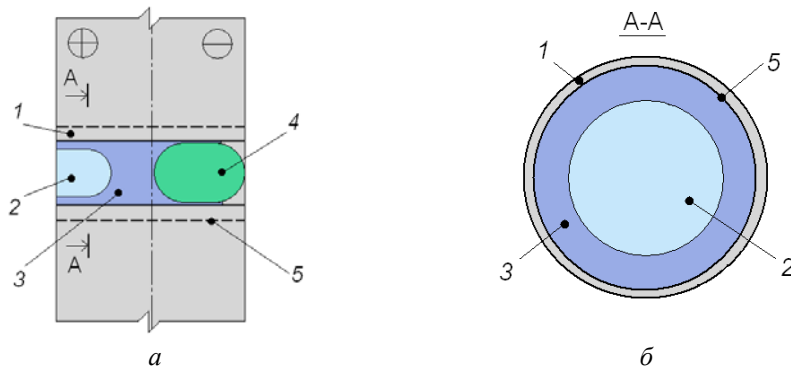


Рис. 5. Модель влажного строительного материала в ограждении: *a* — общий вид; *б* — поперечное сечение поры; 1 — твердая матрица; 2 — влажный воздух; 3 — жидкая фаза влаги (капиллярная и пленочная влага); 4 — твердая фаза влаги (криофаза); 5 — цилиндрическая пора

Теплопроводность рассматриваемого модельного тела можно приближенно определить по формуле [8]:

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\text{ТВ}}(1 - P) + \lambda_{\text{ВОЗ}}(P - W) + \lambda_{\text{ВЛ}}W, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{ТВ}}$, $\lambda_{\text{ВОЗ}}$, $\lambda_{\text{ВЛ}}$ — соответственно теплопроводность твердой матрицы, влажного воздуха, влаги (в жидкой и твердой фазах); P — пористость; W — влажность по объему.

Согласно справочным данным теплопроводность воздуха равна 0,024 Вт/(м · К), а теплопроводность воды — 0,58 Вт/(м · К), т. е. почти в 25 раз больше воздуха. Поэтому при заполнении пор материала влагой теплопроводность увеличивается, а теплотехнические характеристики ограждающей конструкции ухудшаются. При отрицательной температуре образуется криофаза в порах материала. Теплопроводность льда [2,22 Вт/(м · К)] почти в 4 раза больше теплопроводности воды. Следовательно, в мерзлом материале отмечается еще больший прирост теплопроводности с увеличени-

ем влажности. Именно этот эффект отмечается по итогам испытаний, согласно которым угол наклона графика функции $\lambda(w)$ к оси абсцисс несколько выше, чем по ГОСТ 31359—2007, предписывающем проводить измерения при положительных температурах. При неизменных теплофизических свойствах твердой матрицы, воздуха и влаги зависимость теплопроводности модельного тела от влажности линейна, что указывает на правомерность построения экспериментальной зависимости по результатам испытаний образца в климатической камере по двум точкам — при заданной влажности и в сухом состоянии.

В соответствии с требованиями ГОСТ 31359—2007 равновесную влажность в наружных стенах из ячеистых бетонов зданий с сухим режимом эксплуатации в сухой и нормальной климатических зонах влажности и зданий с нормальным режимом эксплуатации в сухой климатической зоне принимают равной 4 %. В остальных наружных стенах из ячеистых бетонов равновесную влажность принимают равной 5 %. Согласно табл. А.1 ГОСТ 31359—2007 теплопроводность ячеистых бетонов марки D500 составляет: при $w = 4\%$ — $\lambda_{w=4} = 0,141$ Вт/(м · К), при $w = 5\%$ — $\lambda_{w=5} = 0,147$ Вт/(м · К). В сухом состоянии теплопроводность ячеистых бетонов $\lambda_{w=0} = 0,12$ Вт/(м · К). График зависимости теплопроводности от влажности газобетона, построенный на основе указанных данных, показан пунктирной линией (рис. 4).

Сравнение теплопроводности газобетона (табл.) показывает расхождение данных, полученных по результатам испытаний в климатической камере и согласно ГОСТ 31359—2007, в среднем на 13,2 %.

Сравнение теплопроводности газобетона при различной влажности

Влажность $w, \%$	Теплопроводность λ , Вт/(м · К)		Отклонение теплопроводности по результатам испытаний от данных ГОСТ, %
	по результатам испытаний	по данным ГОСТ	
4	0,159	0,141	+12,8
5	0,167	0,147	+13,6

Выводы

Результаты выполненного исследования показывают, что фактические теплофизические свойства ячеистых бетонов не совпадают со значениями, заявленными производителями и представленными в стандартах, подготовленных с их непосредственным участием. Несоответствие расчетных и фактических значений теплопроводности материалов и изделий, используемых при устройстве наружных ограждающих конструкций, приводит к увеличению трансмиссионных потерь теплоты через стены и перерасходу тепловой энергии на отопление [16]. В этой связи требуется пересмотр заявленных производителями значений, а также стандартов, на основании которых производится выпуск изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hendry A. W. Masonry walls: materials and construction. Review article // Construction and Building Materials. 2001. Vol. 15. Pp. 323—330.
2. Tasdemir C., Sengul O., Tasdemir M. A. A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes // Energy and Buildings. 2017. Vol. 151(15). Pp. 469—475.

3. *Narayanan N., Ramamurthy K.* Structure and properties of aerated concrete: a review // *Cement Concrete Composite*. 2000. Vol. 22. Pp. 321—329.
4. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона / Н. И. Ватин, А. С. Горшков, С. В. Корниенко, И. И. Пестряков // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 1(40). С. 78—101.
5. Расчетные теплотехнические характеристики стен из автоклавных газобетонных блоков / С. В. Корниенко, Н. И. Ватин, А. С. Горшков, В. Я. Ольшевский и др. // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 6(69). С. 35—58.
6. *Radhi H.* Viability of autoclaved aerated concrete walls for the residential sector in the United Arab Emirates // *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43(9). Pp. 2086—2092.
7. Life cycle and energy performance assessment of three wall types in south-eastern Europe region / N. Maoduš, B. Agarski, T. K. Mišulić, I. Budak etc. // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 133(1). Pp. 605—614.
8. Improving the energy efficiency in buildings while reducing the waste using autoclaved aerated concrete made from power industry waste / R. Drochytka, J. Zach, A. Korjenic, J. Hroudová // *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 58. Pp. 319—323.
9. *Kurama H., Topçu I. B., Karakurt C.* Properties of the autoclaved aerated concrete produced from coal bottom ash // *Materials Processing Technology*. 2009. Vol. 209(2). Pp. 767—773.
10. Ultra-lightweight concrete: Energy and comfort performance evaluation in relation to buildings with low and high thermal mass / F. Roberz, R. C. G. M. Loonen, P. Hoes, J. L. M. Hensen // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 138. Pp. 432—442.
11. *Koronthalyova O.* Moisture storage capacity and microstructure of ceramic brick and autoclaved aerated concrete // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25(2). Pp. 879—885.
12. Concrete blocks for thermal insulation in hot climate / K. S. Al-Jabri, A. W. Hago, A. S. Al-Nuaimi, A. H. Al-Saidy // *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35(8). Pp. 1472—1479.
13. Фактические теплотехнические характеристики ячеистых бетонов автоклавного твердения / А. С. Горшков, И. И. Пестряков, С. В. Корниенко, Н. И. Ватин // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 5(68). С. 75—104.
14. Эксплуатационная влажность автоклавного газобетона в стеновых конструкциях / С. В. Корниенко, Н. И. Ватин, А. С. Горшков, В. Я. Ольшевский // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 8(71). С. 22—40.
15. Investigation of the compressive strength, time lags and decrement factors of AAC-lightweight concrete containing sugar sediment waste / A. Thongtha, S. Maneewan, C. Punlek, Y. Ungkoon // *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 84. Pp. 516—525.
16. Теплотехническое качество наружных стен из автоклавных газобетонных блоков / С. В. Корниенко, Н. И. Ватин, А. С. Горшков, В. Я. Ольшевский и др. // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 7(70). С. 1—21.
17. *Перехоженцев А. Г.* Нормирование сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий по условию теплового комфорта в помещении // *Вестник МГСУ*. 2016. № 2. С. 173—185.
18. *Лобов О. И., Ананьев А. И., Рымаров А. Г.* Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 11. С. 67—71.

© Корниенко С. В., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В. Теплопроводность газобетонных стен при эксплуатационных условиях // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 152—159.

Об авторе:

Корниенко Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, профессор кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-5156-7352, skorn73@mail.ru

Sergei V. Kornienko

Volgograd State Technical University

**THERMAL CONDUCTIVITY OF EXTERIOR WALLS
MADE FROM AUTOCLAVED AERATED CONCRETE BLOCKS
UNDER OPERATING CONDITIONS**

According to the results of the tests for the wall masonry fragment from the autoclaved aerated concrete (AAC) in the climatic chamber, it was found that the data of Russian Standard GOST 31359—2007 on the thermal conductivity of cellular concrete are not applicable for the assessment of the thermal condition of walls under operational conditions.

Key words: civil engineering, building, thermal conductivity, equilibrium humidity, autoclaved aerated concrete block, exterior wall, climatic chamber, laboratory analysis, operating conditions, energy saving.

For citation:

Kornienko S. V. [Thermal conductivity of exterior walls made from autoclaved aerated concrete blocks under operating conditions]. *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], 2020, iss. 3, pp. 152—159.

About author:

Sergei V. Kornienko — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5156-7352, skorn73@mail.ru

УДК 338.485:711

Т. А. Чернявская^а, Ю. В. Чернявский^б, С. Баддур^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»*

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ГОРОДЕ ЛАТАКИЯ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В статье рассматривается необходимость градостроительной реконструкции территории современного сирийского города Латакия, расположенного на побережье Средиземного моря, имеющего историко-культурные ценности, неразрывно связанные с рельефом и общим городским ландшафтом. Территория города представляет собой сохранившийся исторический ландшафт, находится в благоприятной природно-климатической зоне. Формирование городского туристического комплекса обеспечит сохранение исторической памяти объектов и знаменательных событий данной территории, станет местом притяжения населения и будет способствовать привлечению внимания иностранных туристов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительство, реконструкция, туристический комплекс, благоустройство, рекреация, историко-культурный ландшафт.

Современный туризм является не только одним из важнейших секторов мировой экономики, но и одним из наиболее быстро развивающихся видов экономической деятельности.

В развитии каждой отдельно взятой страны международный туризм выполняет ряд важных социально-экономических функций. Он привлекает валютные поступления в бюджет страны, является средством стимулирования создания новых рабочих мест для обеспечения занятости местного населения в отраслях, обслуживающих сферу туризма. С ростом занятости в сфере туризма, в том числе и международного, растут доходы местного населения, повышается уровень благосостояния нации.

Туристическая отрасль, несмотря на все экономические преимущества перед другими видами деятельности, в некоторых странах остается очень слабо развитой. Многие государства, имеющие потенциалы культурно-исторического значения и естественного происхождения, являются привлекательными, но остаются недостаточно оцененными по своему исключительному характеру. В современной экономике международный туризм входит в число трех крупнейших экспортных отраслей, уступая нефтедобывающей промышленности и производству автомобилей, удельный вес которых в мировом экспорте 11 и 8,6 % соответственно. В среднем суммарный доход стран мира от международного туризма составлял 7 % от общего объема мирового экспорта и 3 % от мирового экспорта услуг [1—3].

В развитии каждой отдельно взятой страны международный туризм выполняет ряд важных социально-экономических функций. Он привлекает валютные поступления в бюджет страны, является средством стимулирования создания новых рабочих мест для обеспечения занятости местного населения в отраслях, обслуживающих сферу туризма. С ростом занятости в сфере туризма, в том числе и международного, растут доходы местного населения,

повышается уровень благосостояния нации. Как известно, туризм способствует развитию культуры и укреплению международных отношений, а также сохранению природных ресурсов, историко-культурных ценностей и улучшает экологическое состояние окружающей среды. На территории Сирии в последние десятилетия исследования по возможности развития туристической деятельности не совершались¹ [4].

Актуальность данного исследования обусловили необходимость комплексной оценки современных потенциалов города Латакия Сирийской Арабской Республики. Недостаточная изученность возможностей и проблем формирования и развития туристического комплекса с участием историко-культурных и природно-рекреационных ресурсов отрицательно влияет на развитие туризма в целом в стране.

Целью работы является разработка принципов формирования и реконструкции экологического и инфраструктурного каркасов, на которых формируется туристический комплекс города Латакия (Сирия), для улучшения градостроительных условий и экологического состояния территории города, необходимых для успешного развития туристической деятельности.

Географически город Латакия находится на восточном побережье Средиземного моря, на полуострове в северо-западной части Сирии, граничит с морем на западе и частью с севера, на востоке к городу примыкает горный хребет. С южной стороны за городской территорией раскинулись равнины и сельскохозяйственные деревни, и таким образом площадь города принимает форму треугольника. На побережье городская территория имеет большой торговый участок.

Латакия является одним из наиболее крупных сирийских городов, расположенных на восточном побережье Средиземного моря, западнее от столицы Дамаска на 385 километров. Также это главный порт Сирийской Арабской Республики, который обеспечивает основной выход к морю, содержит самые большие морские терминалы. Одновременно порт Латакия является местом международной торговли и местом прибытия большинства туристов. Туристическая деятельность пересекается со многими областями экономики. Существует большое количество компонентов, участвующих в развитии туризма, которые следует учитывать в любом процессе анализа или планирования перспективного формирования туристической инфраструктуры. Факторы и элементы привлечения туристов включают природные элементы, такие как климат, топография, пляжи, моря, реки, леса и заповедники, а также мотивы человека для посещения, такие как исторические места, цивилизации, археологические, религиозные, тематические парки [5, 6].

Город Латакия является одним из наиболее важных туристических городов в Сирии, который посещают около пятисот тысяч туристов ежегодно. Это связано с тем, что на его территории находится множество культурно-исторических достопримечательностей. Наиболее яркими туристическими объектами являются: замки крестоносцев, богатейший Национальный музей, который раньше был резиденцией ханов, а затем в нем занял место француз-

¹ Ultra-Green Models for a Sustainable Future: Are Eco-Cities Building a Comeback?
URL: <http://www.spiegel.De/international/germany/ultra-green-models-for-a-sustainablefuture-are-eco-cities-building-a-comeback-a-646219.html>.

ский правитель во время мандата Франции в Сирии, это и церковь «Сердце Иисуса», османские бани, старинные базары, а также много важных археологических объектов. Помимо того, что здесь можно насладиться умеренным морским климатом, природными туристическими достопримечательностями, такими как Голубой пляж, эта местность когда-то славилась винодельческой промышленностью и экспортом вина в другие страны.

Развивающийся туризм изначально использует туристско-рекреационный потенциал местности, а также опирается на градостроительные условия территории развития туристической деятельности. Основой туристического комплекса кроме разнообразных туристических объектов является транспортно-инфраструктурный каркас, включающий помимо транспорта средства размещения, такие как гостиницы, общежития, гостевые дома, предприятия развлечения и питания, рестораны и комнаты отдыха и т. п. [7, 8].

Постепенно с развитием туризма дополнительно развиваются объекты инфраструктуры, предоставляющие различные услуги, такие как туристические информационные центры, агентства путешествий и туризма, центры производства и продажи сувенирных изделий ручной работы, финансовые учреждения — банки, медицинские центры, почта, полиция и тому подобное. В эти объекты также входят транспортные услуги, обеспечивающие мобильность туристов. В комплекс инфраструктурных услуг также входит обеспечение безопасной водой, электроэнергией, удаление сточных вод и твердых отходов, а также сети дорог и других транспортных коммуникаций удобного прибытия и отправки путешественников.

Необходимым условием успешной туристической деятельности является благоприятная экологическая ситуация окружающей среды, которую обеспечивает природно-экологический каркас территории. Природно-экологический каркас включает в себя элементы и жизненно важные системы, которые предоставляются природой в целом. Это такие объекты, как поверхность земли и ее горы, долины, леса, пещеры, реки, заповедники и пустыни, а также типы наблюдений и обширный опыт, содержащийся в них в виде национальных парков, или ландшафтные участки, созданные архитекторами, такие как парки и лесопарки. С экологическим каркасом связаны разнообразные растительные ресурсы — от цветов, деревьев, растений и минеральной воды до животных, зверей и рыболовства, от птиц, рыб и различных морских и других диких существ.

На основе природного каркаса формируется большинство видов туристической деятельности. Экологический туризм, получивший в название этот относительно современный термин, который стал обозначать новый тип экологически чистой туристической деятельности. Этот вид туризма практикуется человеком для сохранения естественного природного и культурного наследия окружающей среды, в которой он живет, практикуя свою деятельность и жизнь, которая в этой практике и жизни вообще не свободна. Человеку нельзя делать то, что он хочет, без расчета, он не полностью свободен и ответственен за то, что он делает.

Экологический или природный каркас территории позволяет оптимизировать процесс изучения, культуры и просвещения населения относительно сохранения главных компонентов окружающей среды, а также является средством для ознакомления туристов с окружающей средой и их участия в опти-

мальном использовании туристических объектов. С точки зрения въезда туристов в сбалансированное количество туристических объектов необходимо заранее знать численность прибывающих и важность туристических зон для обеспечения бережного обращения с ними, в целях предотвращения ущерба обеим сторонам и смягчения негативного воздействия туризма на природную среду [5, 9].

Обеспечение развития экологического туризма принуждает к развитию инфраструктурного каркаса, так как туризм создает рабочие места на местах непосредственно в секторе туризма и косвенно в ряде секторов поддержки и управления ресурсами. Природно-экологический туризм способствует продуктивному использованию земель, которые являются маргинальными для сельского хозяйства. Кроме того, все виды туристической деятельности и виды туризма способствуют повышению самооценки местных сообществ, что обеспечивает лучшее понимание и общение между людьми из разных слоев общества.

В целом туризм способствует усиленному градостроительному развитию прибыльным местным секторам экономики, таким как гостиницы, рестораны и другие виды размещения и общественного питания, транспортные системы, ремесленные изделия и социально-культурные услуги, включая необходимые услуги гида. Туризм стимулирует улучшение местного транспорта, связи и другой инфраструктуры, необходимой для сообщества. Развиваясь, туризм обеспечивает создание баз отдыха и спорта, которые могут использовать не только местные сообщества, а также и иностранные посетители. Это также способствует сохранению археологических памятников, зданий и исторических зон и увеличивает расходы на их сохранение.

Несмотря на все преимущества туристической отрасли, эта деятельность в стране остается слабо развитой, хотя страна имеет значительные потенциалы культурно-исторического значения и естественного происхождения, являющиеся привлекательными на мировом уровне, но остаются недостаточно оцененными по своему исключительному характеру. Туристско-рекреационный потенциал города Латакия может обеспечить эффективное функционирование туристического комплекса после его реконструкции.

Для полного использования культурно-исторического наследия, исторического ландшафта и особо ценных природных территорий формирование регионального туристско-рекреационного комплекса должно строиться на принципах иерархичности туристско-рекреационных элементов, которые на различных территориальных уровнях образуют относительно самостоятельную эстетическую ценность, тяготеют к различным населенным пунктам и подчиняются административно и экономически различным муниципалитетам [3, 5].

На государственном и местном уровнях необходимо выделить территории, примыкающие к историческим поселениям, которые отдалены от промышленной и интенсивной сельскохозяйственной эксплуатации для обеспечения сохранности как памятников истории и культуры, так и ценных элементов природной среды, составляющих целостные историко-культурные ландшафты. Они образуют региональные природоохранные территории и формируются в виде ландшафтных памятников природы, природных парков, комплексных и локальных охраняемых объектов.

Модель структуры территориального туристско-рекреационного комплекса приведена на рис. 1.



Рис. 1. Модель структуры территориального туристско-рекреационного комплекса

Объекты, использующие бальнеологические ресурсы и их месторождения, в большинстве случаев территориально совпадают или приближены к местам, традиционно используемым населением для рекреации. В формировании и развитии туристско-рекреационного комплекса особое значение имеют природные парки, в задачи которых входит не только сохранение уникальной природной среды, но и создание условий для отдыха населения и сохранения рекреационных условий.

При формировании территориального туристско-рекреационного комплекса необходимо учитывать ряд условий. Во-первых, развитие этого комплекса должно соответствовать стратегии социально-экономического развития региона, и, во-вторых, территория должна обладать определенным туристско-рекреационным ресурсным потенциалом, поэтому большое значение имеет объективная оценка возможностей его развития. В-третьих, необходимо учитывать ориентацию территории на определенную категорию потребителей, привлекать инвестиции и увеличивать свою долю на рынке туристско-рекреационных услуг.

Процессы формирования туристско-рекреационного комплекса как составного элемента экономики региона приведены на рис. 2.

Активное вовлечение туристско-рекреационных ресурсов в региональную экономику невозможно без развития основных социально-

экономических элементов города как территориально-хозяйственного субъекта. К наиболее важным направлениям маркетинга туристского потенциала относятся градостроительные условия, такие как транспортная инфраструктура, туристско-рекреационные ресурсы, туристский территориальный продукт, квалифицированный персонал, сложившийся имидж территории, наличие достопримечательностей в регионе [10].



Рис. 2. Схема процесса формирования туристско-рекреационного комплекса региона

Комплексное развитие градостроительных условий является одним из главных направлений территориального развития, поскольку они составляют инженерно-транспортный каркас и основу системы расселения. Хорошее состояние инфраструктуры обеспечивает надежное энергообеспечение и теплоснабжение, транспортные связи, обеспечение чистой водой, благоприятные градостроительные условия. В то же время наличие инфраструктуры еще не гарантирует региональный социально-экономический рост, но при отсутствии или плохом состоянии инженерно-транспортных коммуникаций улучшение и развитие экономики региона невозможно² [10].

С точки зрения интересов использования туристского потенциала для региона важны благоприятные социально-экономические условия жизнеобес-

² Perspectives for Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation (RIS3) in the wider context of the Europe 2020. Growth Strategy // Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. URL: http://ec.europa.eu/research/regions/pdf/publications/ris3_report-082015.pdf.

печения, для повышения которых необходимо постоянное совершенствование региональной инфраструктуры. Высокий уровень развития инфраструктуры территории обеспечивает ее комплексное развитие с учетом политических, правовых, научно-технических, образовательных факторов, направленных на стимулирование социально-экономической и деловой активности, а также культурной жизни территории.

Но все эти градостроительные, социальные и экологические меры выполнимы только при стабильной геополитической ситуации в стране. Территориальное развитие в масштабах государства может быть обеспечено, если в каждой территориальной единице его выполняется конституционный минимум общих законных установлений, если население любой территории в состоянии получить единый установленный минимум социальных благ, равно как и реализовать установленные единые политические права.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Corner J.* The landscape urbanism reader. Princeton Architectural Press. New York, 2006. Рр. 21—32.
2. *Кумова Н. А.* Природное и культурно-историческое наследие региона как фактор производства туристического продукта // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астрахань : АГУ, 2004. Вып. 3(9). С. 155—158.
3. Туризм и отраслевые системы / Под ред. В. А. Квартальнова, И. В. Зорина, Л. С. Плаховой и др. М. : Финансы и статистика, 2002. 271 с.
4. *Чернявский Ю. В.* Перспективы социально-экономического развития Волгоградской области с учетом туристско-рекреационного потенциала : монография. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 185 с.
5. *Чернявский Ю. В.* Перспективы социально-экономического развития Волгоградской области с учетом туристско-рекреационного и бальнеологического потенциалов // Экономический вестник Ростовского государственного университета. Ростов-на-Дону, 2007. № 3. Ч. 3. С. 346—351.
6. Методические и экологические основы архитектурной дендрологии : учебно-методическое пособие / И. Н. Етеревская, Т. А. Чернявская, Н. В. Самойлова, О. Е. Емельянова. Волгоград : ВолгГТУ, 2017. 134 с.
7. *Чернявская Т. А., Антюфеева О. А., Емельянова О. Е.* Благоустройство и озеленение территорий жилой зоны населенных Волгоградской области : методические указания. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 26 с.
8. *Dixon T.* Sustainable Urban Development to 2050: Complex Transitions in the Built Environment of Cities. 2011. Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University. URL: <http://www.retrofit2050.org.uk/sites/default/files/resources/WP20115.pdf>.
9. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А., Чернявская Т. А.* Региональные основы ландшафтной архитектуры : учебное пособие. Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. 188 с.
10. *Чернявский Ю. В.* Туристско-рекреационный ресурсный потенциал как фактор социально-экономического развития региона (на примере Волгоградской области) : автореф. дис... канд. эк. наук. М. : РГУТиС, 2011. 26 с.

© Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Баддур С., 2020

Поступила в редакцию
в июле 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Баддур С. Потенциальные возможности формирования туристического комплекса в городе Латакия Сирийской Арабской Республики // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 160—167.

Об авторах:

Чернявская Татьяна Антоновна — канд. биол. наук, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Tatyanaozer@mail.ru

Чернявский Юрий Владимирович — канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; ORCID: 0000-0002-1781-433X, unionwww@yandex.ru

Баддур Сара — магистрант кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; urbanistika_14@mail.ru

Tat'yana A. Chernyavskaya^a, Yury V. Chernyavsky^b, Sara Baddur^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation, Russian Academy of Sciences*

POTENTIAL DEVELOPMENT OF THE TOURIST COMPLEX IN THE CITY OF LATAKIA OF THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

The article discusses the need for urban reconstruction of the modern Syrian city of Latakia, located on the Mediterranean coast, which has in its landscape of historical and cultural value is inextricably linked with the terrain and General urban landscape. The city area has recreational and cultural-historical value, is a preserved historic landscape, located in a favorable climatic zone. Infrastructure development and General improvement of the city will improve the quality of service not only tourists but also local residents. The formation of urban tourism complex will preserve the historic memory of objects and significant events in the territory, will become a place of attraction of the population and will help to attract the attention of foreign tourists.

Key words: urban planning, reconstruction, tourism complex, landscaping, recreation, historical and cultural landscape.

For citation:

Chernyavskaya T. A., Chernyavsky Y. V., Baddur S. [Potential development of the tourist complex in the city of Latakia of the Syrian Arab Republic]. *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], 2020, iss. 3, pp. 160—167.

About authors:

Tat'yana A. Chernyavskaya — Candidate of Biology, Docent of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; Tatyanaozer@mail.ru

Yury V. Chernyavsky — Candidate of Economics, Leading researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation, Russian Academy of Sciences. 97, Universitetskii prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1781-433X, unionwww@yandex.ru

Sara Baddur — Masters' Degree student of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; urbanistika_14@mail.ru

УДК 338.485:711

Т. А. Чернявская^а, Ю. В. Чернявский^б, Р. Брехемоу^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»*

РЕКРЕАЦИОННО-ТУРИСТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КАК ОСНОВА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ ГВИНЕИ

В статье анализируются перспективы градостроительного развития территории государства Гвинея, которое расположено в западной части Африканского континента, имеет общий ландшафт атлантического побережья. Территория представляет собой сохранившиеся исторические ландшафты, нуждающиеся в градостроительном развитии и благоустройстве, которые повысят качество рекреационно-туристического обслуживания, обеспечат сохранение исторической памяти объектов и знаменательных событий на данной территории. Градостроительное развитие поможет стране не только улучшить среду жизнедеятельности населения, но и будет способствовать привлечению международных туристических потоков.

Ключевые слова: рекреационно-туристические ресурсы, туризм, градостроительство, рекреация, реконструкция, инженерно-транспортная инфраструктура, благоустройство.

В настоящее время индустрия туризма является одной из наиболее динамично развивающихся форм в международной торговле услугами и значение всех форм туризма постоянно возрастает, что связано с возросшим влиянием туризма на экономику каждой страны. В экономике каждой отдельной страны международный туризм выполняет ряд важных функций.

Во-первых, это источник валютных поступлений в бюджет страны и средство создания новых рабочих мест для обеспечения занятости местного населения. Международный туризм расширяет вклады в платежный баланс и ВВП страны.

Во-вторых, туризм способствует диверсификации экономики, создавая отрасли, обслуживающие сферу туризма. С ростом занятости в сфере туризма, в том числе и международного, растут доходы населения и повышается уровень благосостояния нации.

В-третьих, международный туризм входит в число трех крупнейших экспортных отраслей, уступая нефтедобывающей промышленности и производству автомобилей, удельный вес которых в мировом экспорте 11 % и 8,6 % соответственно. В среднем суммарный доход стран мира от международного туризма составлял 7 % от общего объема мирового экспорта и 3 % от мирового экспорта услуг. Однако информация о развитии международного туризма не является абсолютно точной, поскольку достаточно сложно измерить туристические потоки. Из-за отсутствия единого способа их учета значительно осложняется сопоставление статистических данных между странами.

Данная тема особенно актуальна в связи с наступившей градостроительной необходимостью развития рекреационных объектов, включающих естественные ландшафты и историко-культурные объекты как в окружении исторических ландшафтов, так и на урбанизированных территориях. Как показы-

вает мировой опыт, туризм занимает важное место в многостороннем развитии общества и именно в экономике, которой он открывается во всех отношениях. Действительно, в социально-экономическом плане он генерирует валюту, создает рабочие места, укрепляет популярность культурного обмена, улучшает окружающую среду. Несмотря на все эти преимущества, туристическая деятельность остается очень слабо развитой в развивающихся странах Африканского континента и особенно в Западной Гвинеи (рис. 1).

Страна Гвинея находится вне международных туристических маршрутов. Но для прибывших в нее путешественников она разворачивает необыкновенные пейзажи и обещает прекрасные человеческие встречи.



Рис. 1. Ситуационная схема расположения страны Гвинеи на Африканском континенте

Гвинея, называемая также Гвинеей-Конакри, чтобы отличить ее от Бисау, Экваториальной и Новой, является прибрежной страной, расположенной на западе Африки. Западные границы страны совпадают с океанским побережьем, которое омывается водами Атлантического океана. Гвинея также граничит с шестью государствами — Кот-д'Ивуаром, Гвинеей-Бисау, Либерией, Мали, Сенегалом и Сьерра-Леоне (рис. 2).

Столицей является город Конакри, представляющий также единственный в Гвинее международный порт на атлантическом побережье. Его исторический центр расположен на острове Томбос, соединенном с материком дамбой. В Конакри постоянно проживает 2,5 миллиона человек из общего

почти 10 миллионного населения страны. Остальная часть населения Гвинеи около 70 % проживает в основном в сельских районах.

Территория государства представляется достаточно гористой местностью, только побережье океана занимает низменность с многочисленными реками. Леса занимают более чем 50 % территории страны, главным образом основу составляют листопадные деревья, но встречаются мангровые заросли, и вечнозеленые леса. Что касается животного мира, к сожалению, в дикой природе популяции африканских животных практически истреблены, но в заповедниках сохранились такие животные, как бегемоты, циветты, леопарды, обезьяны, слоны.



Рис.2. Ситуационная схема расположения Гвинеи и сопредельных государств

Для круглогодичного туризма в Гвинее благоприятные природно-климатические условия — тропический тип климата. Год можно разделить на два сезона: зимний — сухой и летний — сезон дождей, которые следуют за муссонами. Большая часть осадков выпадает на побережье страны. Летние температуры в среднем колеблются в регионе до 25—30 градусов тепла. Зима же в период с декабря по февраль представляет жаркий и сухой сезон, обстановку зимой ухудшают сильные ветры, дующие из пустыни. Купальный сезон в Гвинее продолжается на протяжении всего года, что порадует туристов любителей этого отдыха.

Рельеф Гвинеи представляет собой сильно пересеченную местность с многочисленными реками, разделенную на четыре основных природных региона: Морская или Нижняя Гвинея, которая проходит вдоль побережья Атлантического океана; Средняя Гвинея расположена в горной области, которая включает в себя массив Фута Джаллон; Верхняя Гвинея, область саванны на севере; Лесная Гвинея — четвертый регион — представляет часть территории на юго-востоке. В каждом регионе свой рельеф, климат, фауна, флора, исторические объекты и культурные традиции.

На территории **Морской Гвинеи** расположены уникальные пляжи, покрытые мелким песком, обрамленные очень живописным пейзажем вдоль всей 300 км береговой линии. Здесь вы найдете мангровые леса с разнообразной водной фауной. Поблизости находятся зеленые острова Лоос, окаймленные пляжами, которые когда-то были ориентиром флибустьеров и пиратов в

открытом море, в современное время они подходят для занятий водными видами спорта. В Нижней Гвинее также есть водопады, такие как Фата невесты, который находится в 13 км от Киндии по дороге в Маму. Этот водопад обязан своим прозвищем своим двум падениям с высоты около 80 м, которые задрапируют его, как нетронутую завесу. Также в префектуре Боффа, в 225 км от Конакри, расположен пляж Бель-Эйр, возможно, является одним из самых красивых на западноафриканском побережье с его семью милями серебристо-белого мелкого песка, окаймленного кокосовыми пальмами. Кроме того, в Приморском крае сохранились участки, на которых велась торговля рабами Бенти (Forécariah), Фаринья (Boffa) и другие оригинальные объекты.

Средняя Гвинея, или Фута-Джалон, состоит из горных ландшафтов и имеет разнообразные пейзажи и мягкий климат, который имеет прозвище «африканская Швейцария». Регион представляет собой так называемую водонапорную башню Западной Африки, где берут свое начало несколько крупных рек: Гамбия, Бафинг и Бакойя. Здесь можно посетить водопады Дитинн, Ла-саала и Кинкон, знаменитую Даму Мали [1], представляющую собой фигуру высеченную в скале ветровой эрозией. Согласно легенде, Леди Мали была неверной женой, которую Бог наказал, превратив ее в статую. Фута-Джалон также имеет богатый ремесленный центр, а именно в Лабэ, Далабэ и Маму-городе, являющийся торговым перекрестком региона.

Верхняя Гвинея состоит из высокогорья и травянистых гибких саванн. Ее пересекают крупные реки, такие как Нигер, Бафинг, Бакойе. Здесь находятся руины древней столицы империи Мали, Ниани и Империи Вассулу, Священный балафон (XIII в.) короля Суосо. В целом область Верхняя Гвинея изобилует многочисленными туристическими ресурсами, особенно историческими, такие как: крепость Биссандугу, мечеть Эль-Хадж, Омар Талль. Данная территория подходит для рыбалки на пресной воде и охоты, а национальные танцы и традиционные рыбные праздники являются частью специфики этого региона.

Лесная Гвинея, расположенная в субэкваториальной зоне, состоит из густого леса, из которого возникает гора Нимба, одна из самых высоких вершин страны (1752 м). Этот район также является домом для моста лиан через Диани, внесенного в список всемирного наследия ЮНЕСКО. В этом районе сохранилась дикая природа, водятся живородящие жабы, семейные шимпанзе горбуна и слоны из таинственного леса Зяма. Все вышеперечисленное делает этот регион привлекательным, и он идеально подходит для экотуристических мероприятий, таких как трекинг¹ [2].

Несмотря на богатство и разнообразие природно-исторического потенциала, гвинейский туризм остается слабо развитым. Эта ситуация вызвана отсутствием средства туристского продвижения на мировом рынке, недостаточностью градостроительной планировки участков, слабо развитой инженерно-транспортной инфраструктурой (вода, энергия, дорога, телекоммуникации), низкой квалификацией трудовых ресурсов и т. п.

Транспортная инфраструктура включает автомобильные и железные дороги, авиационный и водный транспорт. Автомобильные дороги имеют общую протяженность 43,5 тыс. км, из которых с твердым покрытием толь-

¹ URL: <https://otdyhateli.com/otdyih-v-gvinee/>

ко 30 %. Железнодорожный транспорт представлен тремя линиями общей протяженностью 385 км. Главный и единственный морской порт расположен в столице государства Конакри, через который осуществляется 90 % внешней торговли страны. Также в Конакри расположен международный аэропорт, дополнительно обеспечивающий воздушную связь с 10 местными аэропортами. На территории Гвинеи имеется еще 5 аэродромов частных горнодобывающих компаний.

Страна Гвинея имеет слабо развитую международную транспортную связь с прилегающими государствами. В связи с этим прямых рейсов из России в Гвинею нет. Наиболее удобно будет следовать с пересадкой через крупные европейские или африканские города: Париж, Дакар и другие. До Конакри, столицы Гвинеи, можно добраться и через Касабланку, время в полете в целом составит около 18 часов. Для тех туристов, которые путешествуют и по другим странам Африки, есть возможность попасть на территорию страны на пароме из Мали. Однако паром следует нерегулярно, лишь в сезон дождей, когда река полноводна.

Автобусное международное сообщение с другими приграничными странами также отсутствует. Можно доехать до границы и пересечь уже на местный, гвинейский автобус. Если путешественник хочет иметь гарантию свободного передвижения на территории страны, он может воспользоваться автомобилем. Однако стоит помнить о том, что в крупных городах Гвинеи очень много пробок, а правилам дорожного движения следуют далеко не все водители. Поэтому лучше взять в аренду машину с водителем.

Отельная инфраструктура Гвинеи, так же как и транспортная, имеет ограниченное развитие. Комфортабельные отели расположены в крупных городах, таких как Конакри, где в принципе можно найти достаточно неплохие отели (рис. 3, 4). Нельзя сказать, что проживание обойдется дешево: ведь любители экзотики готовы платить за комфорт, и гвинейцы пользуются этим, чтоб хоть как-то заработать.



Рис. 3. Отель «Калум», г. Конакри

Так, пятизвездочный отель летом и при раннем бронировании обойдется около 10 000 рублей в сутки, но он не будет полностью соответствовать стандартам. В менее комфортабельных отелях или апартаментах можно заброни-

ровать за 4000 рублей в сутки, есть и совсем недорогие отели с минимумом удобств за 2000 рублей в сутки. Но путешественники, отправляющиеся в Гвинею, как правило, едут не за обслуживанием класса люкс, а именно за диковинками и нестандартным отдыхом.

Уровень безопасности в Гвинее ввиду бедности страны не слишком высокий. Так как туризм в стране не развит, нельзя сказать, что есть специальные структуры, которые в любой момент придут на помощь путешественнику.



Рис. 4. Отель «Маленькая лодка», г. Конакри

Подготовиться самостоятельно можно, изучив все отзывы туристов, которые побывали там, сделать прививку от желтой лихорадки и некоторых других местных болезней. А также помнить о простых правилах: обязательно стоит иметь при себе антималярийные препараты; пить только бутилированную воду; иметь медицинскую страховку; не стоит прогуливаться по бедным районам ночью, носить с собой все ценности и деньги; не стоит без разрешения фотографировать местных жителей. Отправляясь путешествовать в Гвинею, лучше заранее позаботиться о связи и иметь при себе модем для выхода в интернет, так как в силу бедности в стране далеко не во всех местах пребывания легко найти доступ к нему.

В Гвинее, несмотря на то, что государство не развито в плане туризма, найдется, на что посмотреть умному и отважному путешественнику, который в нее попадет. Столица Гвинеи Конакри напоминает европейский шумный мегаполис. Пока что основная масса населения живет весьма бедно, но власти стараются развивать в стране различные сферы общественной жизни.

Увлеченных историков этнографии впечатлит местный музей. Национальный музей Конакри хранит в своих стенах более 10 000 экспонатов. Там и различные архивы по истории страны, и африканские маски, и предметы религиозного культа, и живопись местных мастеров — в общем все, что может рассказать о том, каковы же гвинейцы. Роскошный Дворец президента славен своей архитектурой.

Шикарные виллы в мавританском стиле, находящиеся напротив него, обязательно обратят на себя восторженное внимание туристов. На сегодняшний день они сдаются как офисные помещения международных компаний. В столичном Конакри есть несколько храмов — католический собор Святой Марии, практически всегда пустующий, и Большая мечеть Конакри, которая всегда наполнена. Дело в том, что большая часть населения Гвинеи, несмотря на годы колонизации, исповедует именно ислам.

Для тех, кто хочет отдохнуть от прогулок и музеев, существует в столице Ботанический сад. Он не столь велик, как величайшие европейские сады, но в нем находится множество местных растений, принадлежащих к редким видам.

В главном городе страны Конакри есть несколько рынков. Рынок «Марч Мадина» относится к крупнейшим международным рынкам в западной части континента. Рынок «Нигер» несколько меньше, но также заслуживает внимания. На рынках можно купить свежие продукты, полакомиться, напитаться шумной атмосферой и закупить сувениры, к примеру: металлические и деревянные изделия местных ремесленников, традиционные костюмы, ковры, амулеты, бижутерию, специи. В Конакри также достаточно развита ночная жизнь. Удивительно для этой страны, но Конакри является неплохим городом для любителей вечеринок, ведь все же столица приспособлена к туристам из иных стран более всего.

Другие интересные места Гвинеи находятся на живописных островах в Атлантическом океане, расположенных всего в 10 километрах от Конакри. Сюда регулярно организуются и круизы для жителей и гостей города. Особенно прекрасны своей природой острова Иль-де-Лос: атлантические просторы, чистые и не заполненные толпами отдыхающих пляжи, леса.

В континентальной части страны в префектуре Боффа, в 225 км от Конакри, расположен пляж Бель-Эйр, возможно, является одним из самых красивых на западноафриканском побережье с его семью милями серебристо-белого мелкого песка, окаймленного кокосовыми пальмами.

Также из столицы можно с комфортом добраться до знаменитого водопада Бафара, плато Фута — Джаллон и до крутых порогов Фуями. Здешняя природа напоминает своей шикарной растительностью и экзотическими животными сказочный лес, в котором живут добрейшие люди, норовящие угостить вас вкусной местной кухней.

После таких красот можно заглянуть в местный горный курорт «Далаба», который был популярен еще среди колонистов, и сейчас его любят туристы. По склонам зеленых холмов разбросаны жилые дома, а окружают местечко фруктовые сады и бескрайние поля. Кстати, в Далабе есть достаточно неплохие отели и даже туристическое агентство, что говорит о высокой популярности курорта, ведь на территории Гвинеи туристической инфраструктуры не так много. Если же вы хотите посетить резиденцию президента и вдоволь насладиться необычной местной архитектурой, то тогда вам следует посетить город Фарана. В Фаране расположено много вилл в колониальном и викторианском стиле. Здесь также много небольших торговых площадей, где можно не только приобрести самобытные сувениры, но и пропитаться духом местного быта. А еще отсюда можно отправиться по реке Джолиба к нескольким природным достопримечательностям Гвинеи.

В выходные в Нижней Гвинее можно посетить лучший пляжный городок в стране — Кейп-Верга. Что интересно, среди недели он практически безлюден, однако на уик-энд он преобразается, превращаясь в милейший курорт. Также многие туристы выбирают своей целью города Мали, Тамге, Каведу и поразительные водопады Кинкон.

Оригинальной и мало известной на других континентах является гвинейская кухня и напитки, также представляющие туристический продукт, который делает этот регион привлекательным. Распространенными крупными культурами в Гвинее являются рис, сорго, маниока. Гвинейцы употребляют и рыбу, и мясо, однако практически не распространена свинина, ведь страна в основном мусульманская. Морепродукты более распространены и благодаря выходу к океану, и благодаря местной речной сети. В соусы добавляют орехи (арахис), бамию, овощи. Основным алкогольным напитком является пальмовое вино. В столичном Конакри и других крупных городах вполне возможно найти как рестораны с местным колоритом, так и рестораны европейской кухни: французской, итальянской, а также встречается достаточно много международных блюд, таких как фастфуд, в среднем ресторане обед на двоих обойдется около 2000 рублей.

Итак, Гвинея: не самая известная среди туристов страна, но опытному путешественнику ничто не будет помехой. В целом гвинейцы достаточно неплохо относятся к туристам, которые и сами проявляют себя вежливо и скромно. Для поездки в эту бедную страну придется потратиться, ведь даже еда в супермаркетах здесь не такая дешевая. Однако приятный климат и природные красоты, а также экзотика обязательно окупят путешествие в Гвинею — ведь здесь мало кто побывал².

Несмотря на разнообразие ресурсного потенциала, гвинейский туризм остается очень слабо развившейся отраслью экономики. Эта ситуация вызвана слабостью средства рекламы и продвижения туристского имиджа страны, часто отсутствует благоустройство участков объектов туризма. Недостаточно развитой является и туристская инфраструктура, включающая: транспортное обеспечение, отсутствие комфортных мест проживания, неразвитые градостроительные условия, отсутствие телекоммуникаций, недостаточность трудовых ресурсов, особенно квалифицированных кадров.

На государственном и общественном уровне делаются попытки развития в стране туристической деятельности. Так, в качестве дополнения к государственным законам, были разработаны анкеты для опроса местного населения и путешественников о недостатках в этом бизнесе.

Анализ материалов литературных источников показывает, что активное вовлечения туристско-рекреационных ресурсов в региональную экономику невозможно без развития основных социально-экономических элементов территориально-административного субъекта (рис. 5) [3, 4].

Рекреационные ресурсы являются одной из ценностей территории региона, которую необходимо использовать в развитии туристской отрасли одновременно с другими отраслями производства, чтобы туризм мог занять достойное место в социально-экономическом развитии Гвинее. Туризм явля-

² URL: <http://www.guinee24.com/lire/detail/economie-la-soguipah-un-modele-de-developpement-economique-social-industriel/>

ется специфической и важной отраслью народного хозяйства, ориентированной на использование природных ресурсов, отличительной особенностью его деятельности является то, что продукция туризма не транспортируется к потребителю, потребители сами перемещаются к местам сосредоточения туристских ресурсов.

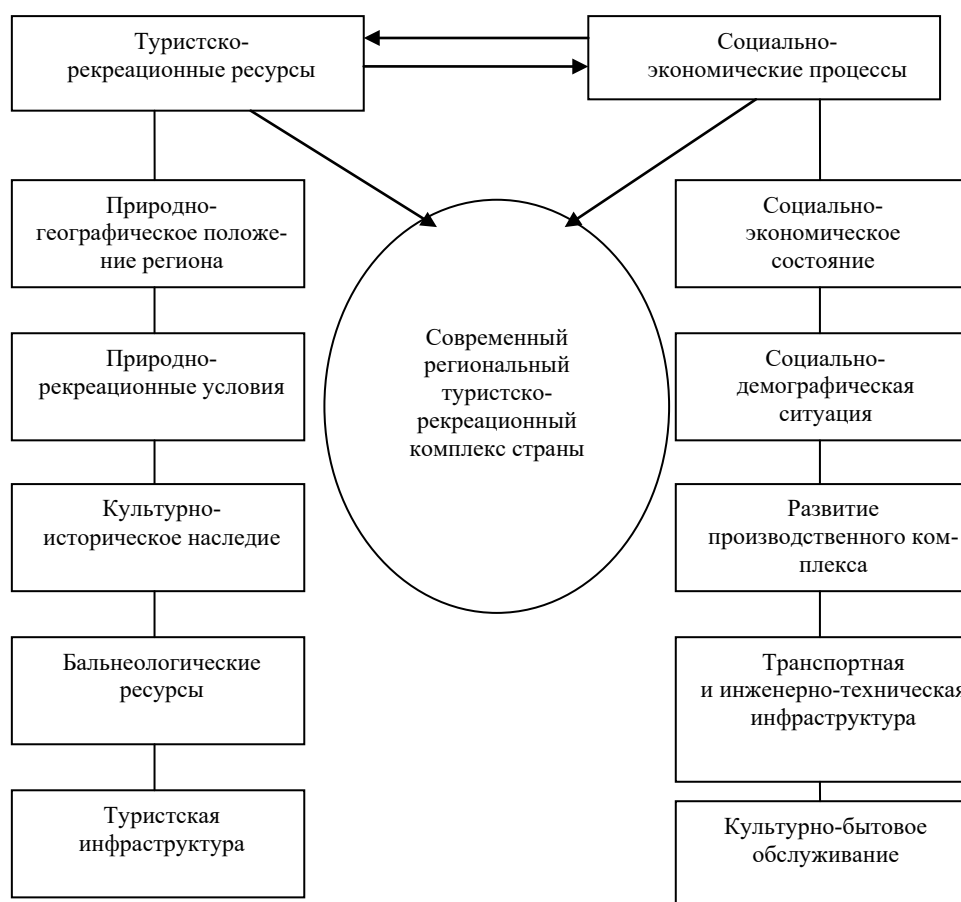


Рис. 5. Схема основных факторов, влияющих на развитие регионального туристско-рекреационного комплекса

Потребление туристского продукта происходит на месте его нахождения, в отличие от других отраслей экономики без изменения количественных и качественных характеристик туристско-рекреационных ресурсов и без их изъятия. Основу туристского продукта территории региона представляют рекреационные и туристские факторы, которые определяются природной и общественной средой. Формирование и продвижение туристского продукта требует финансовых вложений от всех участвующих в процессе субъектов, прямо или косвенно задействованных в экономических отношениях туристской деятельности. Если туристский продукт востребован потребителями, то он приносит всем экономические выгоды, невостребованный приносит убытки всем хозяйствующим субъектам территории региона [4, 5].

К наиболее важным направлениям маркетинга туристского потенциала относятся инфраструктура, туристско-рекреационные ресурсы, туристский территориальный продукт, квалифицированный персонал, сложившийся имидж территории, наличие достопримечательностей в регионе. Территориальное развитие в масштабах таких государств может быть обеспечено, если в каждой территориальной единице выполняется конституционный минимум общих законных установлений, если население любой территории в состоянии получить единый установленный минимум социальных благ, равно как и реализовать установленные единые политические права [3, 5, 6].

Таким образом, устойчивое развитие туризма является частью силы, которая аккумулирует способы передвижения, производства и экологически чистые потребления и использования природных ресурсов, при вовлечении населения, работающего или пребывающего в данном пространстве, соответствующем проекту развития туризма и социально-экономическим выгодам. Такое развитие предполагает обустройство и комплексное управление ресурсами, управление потоками (энергии, товаров и людей) и, следовательно, предполагает тесное участие местных субъектов и экологическую ответственность туристов в целях согласования осуществления туризма с потребностями и возможности приема территории.

На территории Западной Гвинеи складывается благоприятная ситуация по конкурентоспособности потребления туристского продукта, несмотря на его недостаточную развитость. Существующая в стране сеть учреждений круглогодичного отдыха недостаточна и слабо развита территориально, основная часть их сосредоточена в пределах влияния столицы государства города Конакри. В то же время исследованная территория располагает значительными разноплановыми рекреационными и культурно-историческими ресурсами, которые могут обеспечить отдых не только местного населения, но и жителей других стран, при активном формировании регионального туристского продукта и создания благоприятных градостроительных условий, в первую очередь туристической инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дембеле Х. Туризм и радушие (КОНС). М. : Высшая школа, 2012, 235 с.
2. Эль Хадж Тьерно Бубакар Парайя Бах. Дама горы Лура-Гвинея реалии и легенды. Издания Л'Харматтан. Париж, 2007.
3. Туризм и отраслевые системы / Под ред. В. А. Квартальнова, И. В. Зорина, Л. С. Плаховой и др. М. : Финансы и статистика, 2002. 271 с.
4. Чернявский Ю. В. Туристско-рекреационный ресурсный потенциал как фактор социально-экономического развития региона (на примере Волгоградской области) : автореф. дис... канд. эк. наук. М. : РГУТиС, 2011. 26 с.
5. Чернявский Ю. В. Перспективы социально-экономического развития Волгоградской области с учетом туристско-рекреационного потенциала : монография. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 185 с.
6. Corner J. The landscape urbanism reader // Princeton Architectural Press. Nueva York, 2006, Pp. 21—32.

© Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Брехемиу Р., 2020

Поступила в редакцию
в июле 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Чернявская Т. А., Чернявский Ю. В., Брехемиу Р. Рекреационно-туристические ресурсы как основа градостроительного развития территории Западной Гвинеи // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 168—178.

Об авторах:

Чернявская Татьяна Антоновна — канд. биол. наук, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Tatyanaozer@mail.ru

Чернявский Юрий Владимирович — канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; ORCID: 0000-0002-1781-433X, unionwww@yandex.ru

Брехемиу Рожер — магистрант кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; urbanistika_14@mail.ru

Tat'yana A. Chernyavskaya^a, Yury V. Chernyavsky^b, Roger Brehemou^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation, Russian Academy of Sciences*

**RECREATIONAL AND TOURISM RESOURCES AS THE BASIS
OF URBAN PLANNING DEVELOPMENT OF WESTERN GUINEA TERRITORY**

The article analyzes the prospects of urban planning development of territory of the country of Guinea which is located in the Western part of the African continent, has a total landscape of the Atlantic coast. The area is a preserved historic landscapes in need of urban development and improvement that will enhance the quality of recreation and tourism services, will ensure the preservation of historical memory objects and significant events in the area. Urban development will help the country not only to improve the living environment of the population, but also will attract international tourist flows.

Key words: recreational-tourist resources, tourism, urban planning, recreation, reconstruction of engineering and transport infrastructure, landscaping.

For citation:

Chernyavskaya T. A., Chernyavsky Yu. V., Brehemou R. [Recreational and tourism resources as the basis of urban planning development of Western Guinea territory]. *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], 2020, iss. 3, pp. 168—178.

About authors:

Tat'yana A. Chernyavskaya — Candidate of Biology, Docent of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., 400074, Volgograd, Russian Federation; Tatyanaozer@mail.ru

Yury V. Chernyavsky — Candidate of Economics, Leading researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestation, Russian Academy of Sciences; 97, Universitetskii prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-1781-433X, unionwww@yandex.ru

Roger Brehemou — Master's Degree student of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., 400074, Volgograd, Russian Federation; urbanistika_14@mail.ru

УДК 711(470.45)

Н. А. Ястребова, С. Е. Стеценко

Волгоградский государственный технический университет

СИСТЕМА ОТКРЫТЫХ КОММУНИКАТИВНЫХ ПРОСТРАНСТВ Г. ВОЛГОГРАДА

В статье рассматриваются некоторые аспекты организации и проектирования городских открытых пространств в условиях их территориального роста. В статье предложена авторская трактовка обобщения мировых и отечественных тенденций формообразования коммуникативных пространств как особой медийно-социальной структуры. В тексте оценивается потенциал развития открытых городских пространств как потенциальные коммуникативные средовые элементы Волгограда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: городская среда, пешеходные пространства города.

Понятие «открытого» пространства условно включает в себя территории, не занятые капитальными сооружениями различной функциональной направленности. Основные типы открытых пространств можно условно разделить по их функции в структуре города, по их планировочным характеристикам и территориальной локализации [1, 2].

Пространства городов — это не только физические, но и социальные пространства, которые освоены их жителями и наделены как индивидуальными, так и групповыми смыслами. Одной из важнейших функций городского пространства является коммуникативная, основывающаяся на условиях осознания жителями своей причастности и включенности в городское пространство, а также осуществления коммуникативных и интерактивных практик в городском сообществе [3].

Формирование и трансформирование городских пространств, таким образом, выступает непрерывным процессом, имеющим некоторый проблемный характер. В социологических исследованиях в русле архитектоники современных городов отмечаются такие актуальные тенденции, как утрата органической солидарности, разобщенность и размытая социальная идентичность граждан. Современное планирование городских территорий определяется рядом финансовых, политических, эстетических, прагматических функций и намерений. И в гораздо меньшей степени играют роль задачи формирования комфортной, открытой, доступной для восприятия жизненной среды городских территорий. Процессы освоения и присвоения города его жителями дают возможность сделать пространства более или менее комфортными для жизни социума, наполненными социальным взаимодействием, формированием идентичности и социальной активности, определением роли горожан, инициативностью, коллективным социальным городским взаимодействием, направленным на повышение комфорта и уровня благополучия городской среды. Обозначенные выше тенденции в развитии городских территорий отражаются на процессах развития и диверсификации общественных пространств, непрерывными изменениями и усложнениями внутренней организационной структуры. Наиболее сложными и наряду с тем динамичными элементами системы развития пространств города являются открытые коммуникативные пространства — выходящие за рамки

строго ограниченной типологии, где доминируют процессы коммуникации [4]. Сюда относятся разнообразные по форме и содержанию объекты городской среды: торговые и торгово-развлекательные центры, моллы, пассажи, «форумы», комплексные переходы, открытые вестибюли, элементы крупных транспортных комплексов, площадки, скверы, центральные площади и многое другое. Объединяет столь разнородные по форме и содержанию объекты их социально-коммуникативная функция.

Современное состояние городской планировки и архитектуры города Волгограда сочетает в себе наследие города советской эпохи с современными (во многом удачными и неудачными) попытками создать качественно новые объекты городской среды социально-коммуникативного содержания. В условиях стихийного экономического рынка появились «быстрые» торговые центры, объекты к проведению и встрече гостей Чемпионата мира по футболу (2018 г.), столь необходимые и назревшие преобразования Центральной набережной и многое другое. Актуальность исследований городских открытых пространств как связной медийно-информационной системы на примере Волгограда обусловлена необходимостью оценить, в какой мере данные объекты удовлетворяют потребностям горожан.

Под коммуникативным пространством следует понимать формы и способы организации внутреннего и внешнего пространств городской среды, отражающие определенные нормы сознания, социальных структур и правил поведения в обществе, современные представления и потребности в организации социальной коммуникации. При этом следует понимать, что коммуникативные пространства городской среды отражают актуальные потребности и современный уровень общественного сознания на настоящий период времени.

Исследования пространства отношений касаются путей и способов, которыми люди в городах соединяются (или не соединяются) между собой и с их городской средой через символические, технологические и (или) материальные средства. Дж. Айелло и С. Тосони выделяют три направления городских коммуникативных исследований, которые сегодня являются наиболее актуальными: город как медиа, город как сообщение (содержание) и город как контекст коммуникации. При изучении города как контекста для коммуникаций внимание исследователей направлено на медиа-практики, которые наиболее применимы в средовом контексте городской среды [5].

Город как сообщение рассматривается с позиции той информации о городе и его жизни (политической, экономической, культурной, социальной), которой обладают непосредственно жители, которую они производят. Исследования визуальной городской среды, запахов, звуков рисуют картинку городу как одного большого сложносоставного медиа.

Л. Валле выделяет три типа социальных коммуникаций в урбанизированной среде: коммуникация посредством городов, коммуникации о городе, коммуникации в городе [6].

Первый тип определяет то, как горожанин воспринимает и идентифицирует город, а также себя и других через него — это интраперсональная коммуникация в городе. Второй тип предполагает формирование образа города в медиа — городские медиакоммуникации. В третьем акцентируется внимание на том, как люди взаимодействуют друг с другом внутри города — интерперсональная и групповая городские коммуникации.

В исследованиях продвижения и ревитализации урбанизированных пространств Т. Гибсон и М. Лоус концентрируются на следующих аспектах: производстве городских коммуникаций, то есть конкретных практиках формирования городских образов и смыслов; в широком смысле — медийном тексте города; контексте — городском нарративе в обыденных практиках городских коммуникаций [7].

Исследования ученых из Urban Communication Foundation посвящены разработке и развитию научно-прикладной концепции «коммуникативных городов». Внимание Фонда обращено на коммуникативную среду города, которая включает в себя три группы элементов: места для интеракций, инфраструктуру взаимодействия, законодательное и политическое регулирование коммуникации [8, 9].

Коммуникативные исследования городского пространства носят междисциплинарный характер, не ограничиваются рамками жесткой методологии. Они, как и коммуникативные науки в целом, реализуются на стыке социологии, филологии, философии, технических наук, управления, архитектуры и дизайна и других [10]. На сегодняшний день наработан большой объем исследований городских коммуникаций в мировой практике. Вместе с тем остается открытым вопрос о рассмотрении всех отдельных элементов городских коммуникаций в их непрерывной взаимосвязи, то есть о развитии интегрированного социально-ориентированного подхода к городскому коммуникативному пространству с учетом индивидуальной логики каждого города. Возникает необходимость в формировании междисциплинарной модели городских социальных коммуникаций, мета-модели, которая бы на практике обладала гибкой структурой и могла учитывать индивидуальную логику каждого отдельного урбанистического пространства [11].

Особенно остро эта проблема стоит сегодня в России, так как трансформации урбанистических центров в стране являются одним из основных политических и экономических трендов. В них, к сожалению, далеко не всегда учитывается тот факт, что город является жизненным миром для человека.

Типологизация современных открытых коммуникативных пространств может проводиться по разным основаниям. Открытые общественные пространства могут быть пространствами кратко- и долгосрочного использования, открытого или закрытого характера, организованные и стихийные и пр. В рамках функционального подхода можно выделить следующие типы открытых общественных пространств [12]:

1. Функционально-оздоровительное пространство, включающее в себя галереи, парки, базы отдыха и пансионаты, гостиницы, кемпинги, предприятия общественного питания.

2. Физкультурно-спортивное пространство, включающее физкультурные, спортивно-тренажерные здания и сооружения, спортивные комплексы, площадки, бассейны и прочие спортивные объекты.

3. Образовательно-познавательное пространство, включающее музеи, библиотеки, исторические и архитектурные памятники, этнографические объекты, этнические деревни, центры мастерства и ремесел, природные памятники и др.

4. Развлекательное пространство, включающее площади, переходные зоны, театры, концертные залы, кинотеатры, клубы, парковые аттракционы и др.

В конструировании рекреационного потенциала крупного города в рамках использования его культурно-исторического кластера необходимо использовать креативный потенциал современной архитектуры и инновационные разработки специалистов [13]. Так, значительный интерес представляет такое направление, как колористика города, которая создает в сознании человека определенный визуальный образ города, но планирование цветовой палитры города должно базироваться на учете ряда факторов, таких как климатические условия города, его флора и фауна, т. е. естественная цветовая гамма городской территории, а также особенности расположения зданий, их структура, их исторически сформировавшаяся цветовая гамма, значимость тех или иных цветов в традициях горожан [14].

Во-первых, со временем изменилось само понятие общественного пространства. Из «места у костра» оно выросло до неотъемлемой социокультурной единицы современного общества.

Во-вторых, все большую популярность завоевывают различные арт-холлы, в которых проходят выставки начинающих фотографов, антикафе, создающие уютную домашнюю атмосферу, или другие «нестандартные» места, где люди получают заряд положительных эмоций.

В-третьих, культурное пространство города сейчас представляет собой широкие возможности выбора учреждений досуга, быта и культуры для реализации потребностей всех групп местного сообщества.

В-четвертых, еще одной особенностью является наличие большого числа незнакомых людей, благодаря чему человек чувствует себя более свободным и раскованным и в то же время получает возможность создавать или выбирать круг общения по интересам.

В-пятых, город вынужден адаптироваться под темп жизни людей, под интересы различных социальных групп. Еще 20 лет назад, в постсоветской Москве, даже парк был скорее местом уединения. Сейчас же, например, Центральный парк им. Горького в Москве — крупнейшее место для разнообразного отдыха граждан. Он является олицетворением единения людей разных возрастных и социальных групп. На его территории располагаются площадки, на которых люди старшего возраста осваивают танцы, клуб любителей джазовой и оркестровой музыки, прокат велосипедов, сегвеев, самокатов и роликов для молодежи, мультимедийные площадки.

Одним из направлений формирования гибкой социокультурной городской среды в настоящее время является «культурное зонирование», предполагающее выделение в городе особых с точки зрения культурной специфики кварталов, районов¹. Эти районы отличаются по уровню культурной активности и по соответствующей ей организации городского пространства [15].

Перспективами развития коммуникативных пространств городской среды является использование современных информационно-коммуникационных средств и сценарных подходов к их оформлению. На сегодняшний день композиционные и световые приемы являются носителями визуальной коммуникации и информации. Композиционная логика проектирования пространства по-

¹ Перечень памятников архитектуры и градостроительства и особо ценных объектов культуры и современной архитектуры, утвержденный Постановлением администрации Волгограда № 430-п от 17 мая 1995 г.

звolyaет задавать образные характеристики, ориентироваться в пространстве незнакомой обстановки. Сценарные подходы (колористический, аудиовизуальный, пластический, мотивационный, информационный, перевоплощений и т. д., «дневные — ночные» сценарии, «повседневно-праздничные» сценарии) позволяют мобильно организовывать и проектировать коммуникативные пространства с учетом культурно-социальных тенденций в развитии общества.

Большим потенциалом обладают большие пространства перед торговыми центрами и торгово-развлекательными комплексами. На настоящий момент практически перед каждым из торгово-развлекательных комплексов в городе локальные коммуникативные пространства с преобладанием искусственных (или закрытых объектов и пешеходных пространств): ТРЦ «Акварель» (Университетский проспект, 107); ТРК «Парк Хаус» (бульвар 30-летия Победы, 21) и др.

Иные пространства являются зависимыми от архитектурных объектов и в силу незначительных пространственных габаритов не обладают на сегодняшний день потенциалом для саморазвития в сложную пространственную структуру. Полагаем, что на данной территории целесообразно экранировать зоны для отдыха горожан от движения транспорта, создать островки отдыха, отделить транспорт и пешеходов средствами ландшафтного дизайна и более эффективно использовать пространство путем создания «зеленых карманов» [16].

На данных территориях возможно создание трансформируемой среды, зависимой от сезонности, времени суток, событийности (праздничных мероприятий и иных событий). Важным критерием планировочных и иных характеристик выше названных пространств является климатические особенности города Волгограда, а именно для создания ветрового и теневого комфорта на территориях.

Перспективными направлениями проектирования коммуникативных пространств является использование световых визуальных конструкций, придающих контурность, пластику, динамизм, поточность, емкость и глубину пространства, и использование потенциала подземных пространств городской среды (паркингов, подземных переходов) как уникальных статичных и динамичных конструкций пересечения потоков движения людей и средств транспортных коммуникаций (рис. 1, 2). Подобным потенциалом, безусловно, обладают и ландшафтно-антропогенные комплексы овражно-балочной системы города.

Методы проектирования и моделирования коммуникативных пространств также пластичны и адаптивны к изменениям в социальных слоях наиболее активных горожан как основных «потребителей» благ коммуникативных пространств. Базовые категории системы коммуникативных пространств в городской среде являются прежде всего понятийными категориальными понятиями, а в проектном аспекте — требуют специфических средств своей пространственной реализации. Современная «информационная эпоха» приводит к развитию новых средств пространственной и визуальной коммуникации, которая позволяет создавать визуальные эффекты трансформации коммуникативного пространства открытого типа в пространство, воспринимаемое как закрытое, ограниченное, и наоборот. Резкое увеличение значимости информационной компоненты в современном обществе не могло не отразиться на всех сферах жизни, в том числе архитектуре, проектировании среды, и стало инструментом смыслового и декоративного совершенствования (а также искажения) пространства.

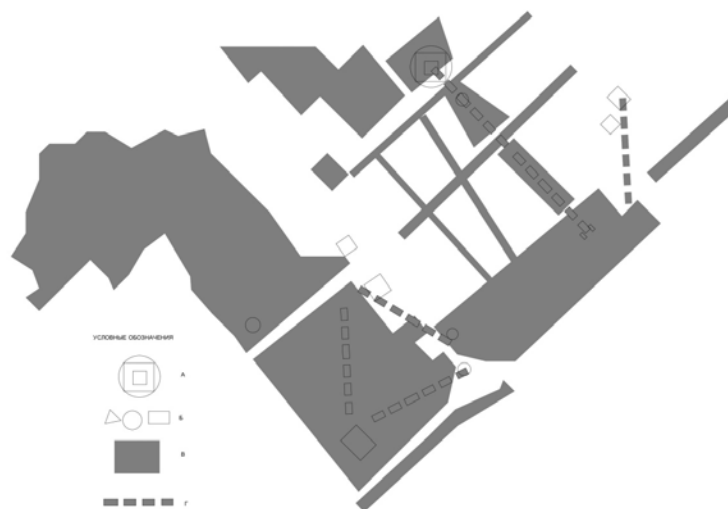


Рис. 1. Взаимосвязанные открытые пространственные структуры сложной конфигурации образуют кольцевой маршрут: А — Храм св. благоверного Александра Невского; Б — объекты гражданского строительства, в том числе ЖК «Паруса», ТЦ «Диамант на Комсомольской»; В — открытые и пешеходные пространства (пойма реки Царицы, набережная им. 62-й Армии, аллея Героев, площадь Павших Борцов, ул. Мира); Г — «визуальные пространственные коридоры»

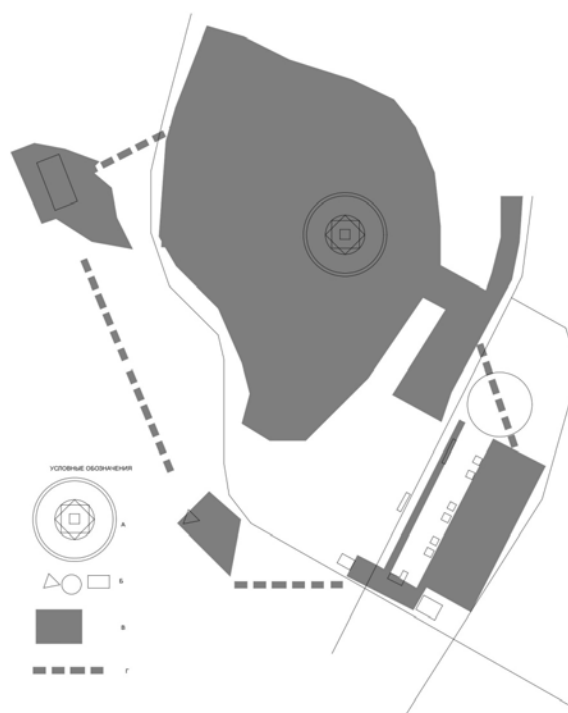


Рис. 2. Транзитный маршрут образует следующие пространства: А — мемориал «Мамаев Курган»; Б — ТРК «Европа Сити Молл», ТРЦ «Мармелад» — (ул. Землячки, 110 Б), Волгоград-Сити и проч. объекты; В — парк Баку, парк Победы; Г — «визуальные пространственные коридоры»

На сегодняшний день композиционные и световые приемы являются носителями визуальной коммуникации и информации. Композиционная логика проектирования пространства позволяет задавать образные характеристики, ориентироваться в пространстве незнакомой обстановки. Графический дизайн на данный период осваивает новые функции, являясь практически монументально-декоративным произведением, и колористическое решение организации коммуникативного пространства подчиняется своеобразному «информационному сценарию». Интерьерный комплекс, который формирует сценографию среды коммуникативного пространства, включает в себя следующие элементы:

- непосредственно пространство («место действия»), которое изначально само по себе архитектурно, статично, неизменно;
- технологии и процессы обеспечения визуального состояния коммуникативного пространства — это формы активности, предопределенные набором функций интерьера (например, коммуникативные пространства моллов, торговых галерей, подземных пространств и т. д.);
- предметно-смысловое наполнение, которое само по себе прагматично, то есть определяется функциями, предназначением, технологиями, процессами, представлениями о комфорте и доступности в современном обществе урбанистической природы. Наполнение также декоративно, поскольку призвано дополнять визуальный образ пространства, привносить в него эмоциональные аспекты; и, наконец, предметно-смысловое наполнение динамично, поскольку подвержено влиянию моды, техническому и информационному прогрессу, а также динамично «физически».

В проектировании коммуникативных пространств городской среды можно выделить следующие сценарии:

- сценарий световой партитуры (световой сценарий) — реализуется посредством размещения источников света и точек управления этими источниками, что позволяет регулировать уровни яркости, эмоционального и функционального воздействия;
- колористический сценарий — реализуется на уровне архитектуры, является более динамичным, реализуется посредством использования технологий цветного света, временных элементов декора и оборудования, проекций;
- акустический сценарий — реализуется на основе архитектурной составляющей, отделочных материалов и процессуальной компоненты (музыкальной композиции в пространстве) с учетом ее центральной и периферической части, соответствия месту и времени, деятельности. В качестве примера можно привести «поющие фонтаны», акустические галереи и т. д.;
- пластический сценарий — реализуется в основном за счет использования архитектурных средств (элементов конструкции пола, мощения, направлений выкладки плиточных конструкций, пространственными спецэффектами и пространственными протяженностями), которые как бы заставляют поток людей идти быстрее или медленнее, «скользить» по поверхности или, наоборот, настороженно и неуверенно ступать, боясь оступиться и упасть;
- информационный сценарий — реализуется за счет размещения и концентрации в пространстве городской среды своеобразных «опорных точек» и «точек доступа», которые могут быть реализованы конструктивными, коло-

ристическими, архитектурными и декоративными приемами, а также средствами декоративно-прикладного искусства, информационных дизайнерских элементов;

- сценарий перевоплощений — включает трансформирующиеся, мобильные элементы оборудования, чехлы, драпировки, прочие современные «костюмированные» элементы в интерьере пространства.

Таким образом, приведенная система сценариев проектирования коммуникативных пространств включает сценарии обустройства, перевоплощений, обустройств «мизансцен», к примеру проектирования витрин и галерей моллов, рекламных установок, праздничных световых сценариев.

К третьей группе «деятельностных» сценариев повседневности можно отнести следующие функциональные разновидности: сервисный, рекреационный, торговый, транспортный сценарий, концепция «уличного кафе».

Таким образом, помимо визуальных средств, проектирования открытых коммуникативных пространств городской среды имеет место сценографический метод проектирования пространств, в основе которого лежит режиссура.

Четвертую группу средств проектирования коммуникативных пространств образуют сценарии ярмарок, фестивалей, торговых площадей, деловых и торговых форумов и прочих предприятий на площадках города. Полагаем, что на сегодняшний день перспективным направлением является развитие «плоскостных» торговых площадей, которые имеют преимущество перед торговыми центрами и моллами. В качестве примера можно привести ведущую реконструкцию и проектирование территории Базарной площади Царицына (в настоящее время — площадь перед Центральным рынком), центральную часть которого занимает мясной и пристройка молочного корпуса. Специфика проектирования подобного рода коммуникативных пространств заключается в достаточной доле импровизации: как показано в данном примере организации торгово-коммуникативной площади, на ней установлены типовые павильоны, каждый из которых оформляется их арендаторами в свободно выбранном стиле и концепте (уличное кафе, кафе азиатской кухни и т. д.), а в выходные дни мобильные конструкции на данной площади позволяют производить ярмарочные мероприятия, организовывать фудкорт, фестиваль уличной еды и т. д.

Полагаем, что главным средообразующим компонентом в данных сценариях выступает специальное оборудование и визуально-коммуникационные технологии организации и проектирования коммуникативных пространств. На основе «деятельностных» сценариев организуются разнообразные формы активности горожан (просмотр уличных шоу, ярмарки, выступления коллективов танца, приобретение товаров и услуг, продукции общественного питания, знакомство, общение и т. д.) в соответствии с потребностями.

Заключительным этапом проектирования коммуникативных пространств является детализировка и уточнение образных решений, которые реализуются в виде дизайн-проектов открытых коммуникативных пространств. Таким образом, исходя из вышеизложенного, можем сделать вывод о том, что методика проектирования коммуникативных пространств не является строго формализованной, не включает жестко регламентированные стадии проектирования, поскольку, по сути, является гипертекстом — визуальной интерпретацией основной проектной стратегией и ее наполнением в виде

блоков, в которой элементы представлены не в линейной последовательности, а системой графов, переходов и логических связей между объектами наполнения пространства.

Данный метод позволяет обеспечить свободу творчества в проектировании и визуализации коммуникативных пространств с точки зрения максимального учета технических, технологических требований, социальных норм и регламентации архитектурной среды. При этом области приложения проектирования коммуникативного пространства могут расширяться и уточняться, «возвращаться» на площадку на разных этапах проектного анализа.

Выводы

Анализ потенциала открытых коммуникативных пространств выявил возможности трансформации парковочных зон перед торговыми центрами в открытые коммуникативные пространства для людей, гибко трансформируемые с учетом климатических условий, смен сезонности и времени суток, праздничных и событийных дат.

Коммуникативное пространство — объект междисциплинарного исследования, который активно разрабатывается архитекторами, урбанистами, экономистами, социологами, политологами, культурологами. Модели открытого коммуникативного пространства, на которые опираются эти науки, могут не совпадать друг с другом и не всегда они исследуют одни и те же характеристики. С точки зрения архитектурного осмысления коммуникативное пространство представляет собой открытое и пустое место, ограниченное застройкой и природными объектами и связанное с коммуникационной структурой города. В его состав могут входить объекты искусства, ландшафтной архитектуры, городского дизайна, коммерческая реклама, объекты идеологической пропаганды. Определение формы и конфигурации такого пространства является, безусловно, прямой архитектурной задачей.

Архитектурная модель коммуникативного пространства представляет собой две модификации: открытую и закрытую форму. Закрытая модель представляет собой большеразмерные, перекрытые сверху общественные пространства в виде моллов, галерей, плаз и атриумов. Открытая модель представлена разными видами. Это могут быть «городские» пространства, предназначенные преимущественно для публичного использования (площади, пешеходные улицы), и «зеленые пространства», традиционно использующиеся как зоны рекреации (парки, скверы, бульвары, набережные, пляжи). Более позднюю архитектурную модель компактного закрытого общественного пространства представляют атриумы, которые возникли на основе развития новых конструктивных решений и технологий. Этот тот случай, когда здание вмещает в себя общественное пространство. Такие гибриды «здание-пространство» представляют собой крупные по размеру multifunctionальные комплексы с несколькими уровнями и горизонтальными и вертикальными связями, системой входов-выходов и въездов на подземные парковки. Атриумные здания — это метод организации искусственной среды для социальных коммуникаций.

Линейные открытые общественные структуры — это улицы, пешеходные трассы, набережные, бульвары, променады [7]. Они представляют собой такую конфигурацию пространства, восприятие которой при движении вдоль единой оси основано на последовательном сложении фронтальных, объем-

ных и глубинных картин. Эти структуры образованы последовательным рядом локальных пространств, обладающих условной замкнутостью. Закрытая форма линейных общественных пространств представлена пассажами, аркадами, галереями, моллами.

Компактная и линейная модификации архитектурной модели общественного пространства явились структурообразующими в процессе градостроительной эволюции абсолютного большинства городов, однако в XXI в. к этим базовым формам добавились новыми вариации. Группировка этих новых общественных пространств по критериям пространственного строения и размера территории позволила составить следующую классификацию:

- «точечные микроструктуры»;
- «надземные мезоструктуры» (рис. 1);
- «пористые макроструктуры» (рис. 2);

Отметим, что архитектурно-пространственной особенностью «пористых макроструктур» является нивелирование границ между внешними и внутренними пространствами. Внутренние (интерьерные) и внешние (экстерьерные) пространства естественным образом перемежаются, перетекают одно в другое, составляя единую структуру общественного пространства. Если при этом сохраняется активная связь их прямых впечатлений, возникает система смешанных открытых и закрытых городских пространств, так называемая модель «Ареал». Повышение уровня удобства внешней среды до комфортности интерьера разрушает границу между ними не только визуально, но и с функциональной, эргономической и эмоционально-психологической позиций.

Другим видом архитектурной модели общественных пространств являются «надземные мезоструктуры». К ним относятся мосты, крыши и террасы. Одним из видов «надземных структур — арка» является случай, когда часть общественных пространств с нижних этажей переносится на верхние этажи здания и эксплуатируемую кровлю. Пример общественных микропространств — площадки-платформы, так называемые городские променады и набережные (набережная 62-й Армии), пространства с односторонней ориентацией (канал в Красноармейском районе). Еще одна архитектурная модель включает в себя точечные микроструктуры, занимающие территории в несколько десятков квадратных метров. Наиболее наглядными примерами являются Мамаев Курган и пространство около ТРЦ Акварель. Таким образом, классические архитектурные модели общественных пространств в виде акрополя, агоры, форума в настоящее время дополняются новыми вариациями, которые позволяют сделать разнообразнее городскую среду современных мегаполисов. Исторически сложившаяся наземная система общественных пространств усложняется за счет вертикальных надземных элементов, микропространств, не требующих больших территорий и сложных макроструктур с перетекающими внутренними и внешними пространствами, составленными из фрагментов исторической застройки и новых объектов. Разработанные проектные решения позволяют обеспечить сохранение культурно-исторической среды и реализацию урбанистических тенденций, повышающих социально-коммуникативную привлекательность, дополнение существующих функций коммуникативных пространств, улучшение качества городской среды, повышение ее комфортности, безопасности и антропоцентричности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шимко В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды. М. : Архитектура-С, 2006. 385 с.
2. Шимко В. Т. Архитектурное формирование городской среды. М. : Высшая школа, 1990.
3. Колхас Р. Гигантизм или проблема Большого. Город-генерик. Мусорное пространство. Арт Гид, 2015. 84 с.
4. Arendt H. Vita activa oder vom tatigen leben // W-Kohlammer GmbH. Stuttgart, 1960, 443 p.
5. Aiello G., Tosoni S. Going About the City: Methods and Methodologies for Urban Communication Research // International Journal of Communication. 2016. № 10. Pp. 1252—1262.
6. Vale L. J. The Imaging of the City: Public Housing and Communication // Communication Research. Special Issue on Urban Communication. 1995. Vol. 22. Pp. 646—663.
7. Gibson T. A., Lowes M. D. Urban Communication: Production, Text, Context. Lanham, Md. : Rowman & Littlefield, 2007. 241 p.
8. Drucker S., Gumpert G. The Communicative City Redux // International Journal of Communication. 2016. №10. Pp. 1366—1387.
9. Hillier B., Hanson J. The social logic of space // Cambridge University Press. 1984. 292 p.
10. Lefebvre H. La production de L'espace // Editions Economica. Paris, 2000. 432 p.
11. Gehl J. Island Press; First Edition edition (September 6, 2010). 288 p.
12. Десятиченко Д. Ю., Запорожан А. Я., Кукулина Е. А. Рекреационное пространство как объект управления инновационным развитием территорий города // Управленческое консультирование. 2017. № 9. С. 64—72.
13. Ястребова Н. А. Система визуальных ориентиров городских пешеходных пространств Волгограда // Вестник ВолГАСУ. 2016. № 1—2(41). С. 8.
14. Ястребова Н. А., Етеревская И. Н. Развитие внутренней рекреации Волгограда: проблемы и перспективы // Вестник ВолГАСУ. 2018. № 51(70). С. 221—230.
15. Скобелева Е. И. Коммуникативные аспекты конструирования социокультурного пространства города // Социология и социальная работа. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Сер.: Социальные науки. 2013. № 2(30). С. 53—59.
16. Стеценко С. Е., Емельянова К. А. интенсификация роли общественного транспорта в городе Волгограде // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы VI Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта. Тамбов, 22—25 мая 2019 г. Тамбов : изд-во Р. В. Першина, 2019. С. 257—259.

© Ястребова Н. А., Стеценко С. Е., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Ястребова Н. А., Стеценко С. Е. Система открытых коммуникативных пространств г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 179—190.

Об авторах:

Ястребова Наталья Александровна — канд. архит., доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; yas_na71@mail.ru

Стеценко Светлана Евгеньевна — канд. техн. наук, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; stezenko-s@mail.ru

Natalia A. Yastrebova, Svetlana E. Stetsenko

Volgograd State Technical University

SYSTEM OF OPEN COMMUNICATIVE SPACES IN VOLGOGRAD

The article considers some aspects of organization and design of urban open spaces in conditions of their territorial growth. The author's interpretation of generalization of world and domestic tendencies of forming communicative spaces as a special media and social structure is offered in the

article. The text estimates the potential for the development of urban open spaces as potential communicative media elements of Volgograd.

Key words: urban environment, city pedestrian spaces.

For citation:

Yastrebova N. A., Stetsenko S. E. [System of open communicative spaces in Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 3, pp. 179—190.

About authors:

Natalia A. Yastrebova — Candidate of Architecture, Docent of Urban Development and Theory of Architecture Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yas_na71@mail.ru

Svetlana E. Stetsenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; stezenko-s@mail.ru

УДК 378.147:697.34

Г. М. Ахмерова, Р. Г. Сафиуллин

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ
МАГИСТРАНТОВ ПРОФИЛЯ
«СИСТЕМЫ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ»**

На базе инновационного Центра инженерных систем в строительстве «SYSTEMS/СИСТЕМЫ» КГАСУ создана современная лабораторная база для обучения магистрантов направления подготовки «Строительство» профиля «Системы теплогазоснабжения и вентиляции». В статье приводятся данные об использовании современной лабораторной базы в подготовке магистрантов на примере установки «Блочный тепловой пункт», предназначенной для экспериментального исследования влияния режимов отпуска теплоты на процессы, протекающие в системах отопления и горячего водоснабжения здания. В концепции Центра заложена возможность искусственного внесения возмущений в функционирование элементов отопления, вентиляции и кондиционирования здания, так что учащиеся могут получить навыки практической работы на современном оборудовании как в стандартных, так и в экстремальных ситуациях. Обсуждаются возможности использования действующего оборудования в целях повышения качества учебного процесса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: профессиональные компетенции, экспериментальные исследования, оборудование теплового пункта, пластинчатые теплообменники.

Лабораторные работы, предусмотренные в учебном процессе, как и лекционные и практические занятия, необходимы для формирования требуемых компетенций магистранта. Они позволяют сформировать у обучающегося умения по переносу теоретических знаний и результатов расчетов на реальные инженерные системы. Для проведения лабораторных работ должна быть создана необходимая база, включающая в себя современное оборудование, многорежимные установки, позволяющие моделировать реальные ситуации и сложные задачи их управления, измерительные приборы, контролируемые программными комплексами. Особенно это актуально для обучения магистрантов по программе подготовки «Системы теплогазоснабжения и вентиляции» — сферы профессиональной деятельности, в которой полное обновление технологий происходит практически раз в пять—шесть лет. Это соответствует периоду полного обучения студента по программам бакалавриата и магистратуры [1, 2]. Поэтому будущий специалист ТГВ должен иметь целостное представление о современном уровне получаемой профессии.

В 2019 году в КГАСУ введен в действие инновационный «Центр инженерных систем в строительстве «SYSTEMS/СИСТЕМЫ», в котором создана современная лабораторная база для обучения магистрантов направления подготовки «Строительство» профиля «Системы теплогазоснабжения и вентиляции». Новизна проекта состоит в функциональном назначении Центра — это демонстрация возможностей современного оборудования систем отопления, вентиляции, кондиционирования, водоснабжения и водоотведения, которое непосредственно задействовано в жизнеобеспечении самого здания. В концепции Центра заложена возможность искусственного внесения возмущений в функционирование элементов отопления, вентиляции и кондиционирования здания, так что учащиеся могут получить опыт практической работы на со-

временных установках как в стандартных, так и в экстремальных обстоятельствах. Так, в здании Центра «SYSTEMS» установлен блочный тепловой пункт (БТП), тепловая схема которого предусматривает учет тепловой энергии в «Блоке узла ввода» и подготовку горячей воды на нужды систем отопления («Блок СО»), горячего водоснабжения («Блок ГВС») и теплоснабжения воздухонагревателей центрального кондиционера, с автоматическим регулированием параметров теплоносителя по температуре наружного воздуха. Компоновка БТП предусматривает присоединение блоков систем отопления и горячего водоснабжения объекта по независимой схеме (через теплообменник) [3]. Схема присоединения ГВС — одноступенчатая параллельная. Подбор теплообменников отопления и ГВС производился по зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки по климатологическим данным Казани¹ [4].

Ниже подробнее рассмотрена работа каждого блока БТП, а также особенности проведения на них лабораторных работ. Блок узла ввода представлен на рис. 1.

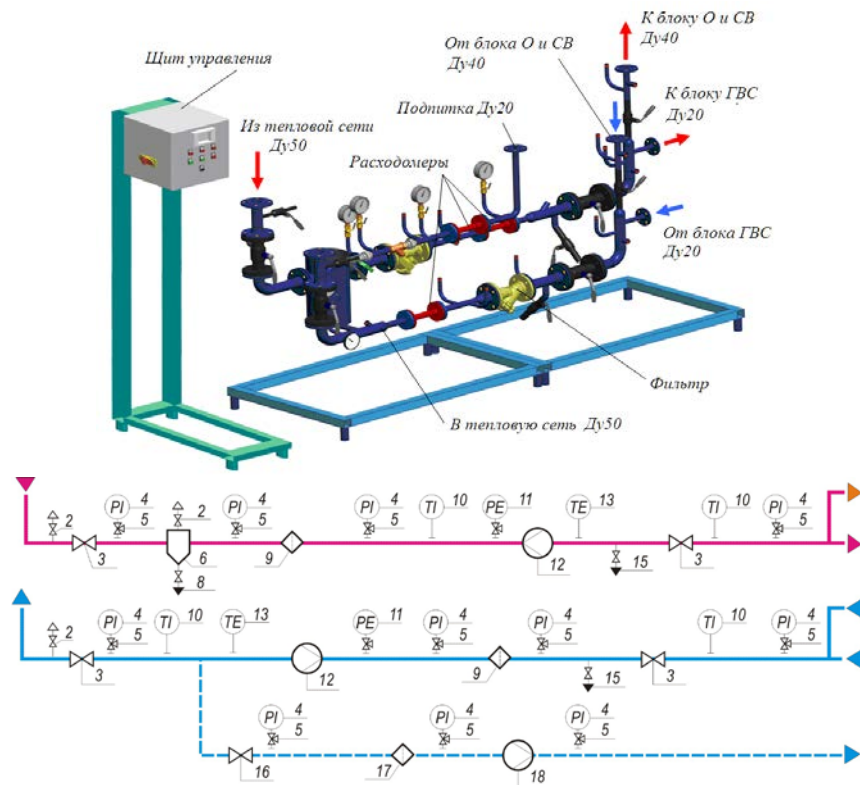


Рис. 1. Сборочная 3D-модель и гидравлическая схема блока «Узел ввода» в Центре «SYSTEMS»: 2 — воздушник; 3, 16 — кран шаровой; 4, 5 — манометр с краном; 6 — грязевик; 8, 15 — спускник; 9, 17 — фильтр; 10 — термометр; 11 — преобразователь давления; 12, 18 — расходомер; 13 — термометр электронный (датчик температуры теплоносителя)

¹ СТО НОСТРОЙ/НОП 2.15.146—2014. Автоматизированные индивидуальные тепловые пункты. Правила проектирования и монтажа, контроль выполнения, требования к результатам работ. М., 2018.

Греющая вода из тепловой сети (первичный теплоноситель) прежде чем попасть по трубопроводу Т1 в калориферы системы вентиляции К-1 и в теплообменник ГВС, проходит грязевик 6 для «грубой очистки», затем фильтр 9 для «тонкой очистки».

Начальные параметры теплоносителя измеряются манометром 4 и термометром 10. Количество теплоты, поступающей на абонентский ввод, фиксируется теплосчетчиком 12, получающим сигналы от датчиков температуры 13, установленных на теплопроводах Т1 и Т2.

Параметры охлажденной воды после теплообменников систем отопления и ГВС воды, возвращаемой в тепловую сеть по теплопроводу Т2, определяются по показаниям расходомера 18, термометра 10 и манометра 4.

В узле ввода предусмотрена подпитка и заполнение внутреннего контура отопления, которая производится из обратного трубопровода теплосети, с набором необходимых для контроля измерительных приборов: водомера, термометра и манометра. Водомер подпитки предназначен для измерения эксплуатационного либо аварийного объема теплоносителя, расходуемого для заполнения системы отопления. Температурные удлинения трубопроводов блока узла ввода компенсируются за счет поворотов труб — используется естественная компенсация. Для уменьшения потерь тепла трубопроводами обвязки теплового пункта и для недопущения высокой температуры на их поверхности предусмотрена тепловая изоляция трубками из вспененного синтетического каучука.

Блок отопления представлен на рис. 2. Первичный теплоноситель поступает из теплосети к пластинчатому теплообменнику 11 системы отопления. Изменять количество первичного теплоносителя, поступающего в теплообменник, можно с помощью регулирующего клапана 4 с электроприводом 5, расположенного на теплопроводе Т2 после теплообменника 11. Меняя количество греющей воды из тепловой сети, соответственно, изменяем и температуру горячего теплоносителя в системе отопления.

Теплоноситель из тепловой сети Т1 через блок узла ввода и шаровой кран 1 поступает в теплообменник 11, где передает часть тепла в контур отопления, и через регулирующий клапан 4 с приводом 5, шаровой кран 1 возвращается в тепловую сеть. Параметры теплоносителя замеряются термометром 10 и манометром 2. Нагретая вода t_1 контура отопления под давлением насоса 15 поступает в систему отопления и через шаровой кран 13 возвращается в теплообменник.

Циркуляционные насосы 15 поочередно осуществляют циркуляцию теплоносителя в системе отопления. Контролер 23 предназначен для управления циркуляционным насосом. Режим работы насоса — регулирование по постоянному давлению. Сигнал о величине напора насоса фиксируется датчиком перепада давления 16 и передается на контроллер блока управления.

Датчик температуры измеряет температуру воды, поступающей в систему отопления, а датчик температуры наружного воздуха 24, установленный на наружной северной стороне здания, — температуру наружного воздуха (рис. 3). Регулирование температуры теплоносителя t_1 осуществляется автоматически, в зависимости от температуры наружного воздуха t_n по заданному температурному графику. Контроллер вычисляет температуру, с которой необходимо подавать воду на вход в СО, и поддерживает ее, управляя электропри-

водом 5 регулирующего клапана 4. Линия подпитки выполняет функцию поддержания давления в системе отопления здания на расчетном значении. Когда давление становится меньше расчетного, контакт электромеханического реле давления 17 замыкается и подается напряжение на катушку соленоидного клапана 18. Клапан открывается, и вода из первичного контура по линии подпитки поступает в контур системы отопления. Давление восстанавливается до величины расчетного давления контура отопления, электромеханическое реле замыкает контакт, и линия подпитки перекрывается.

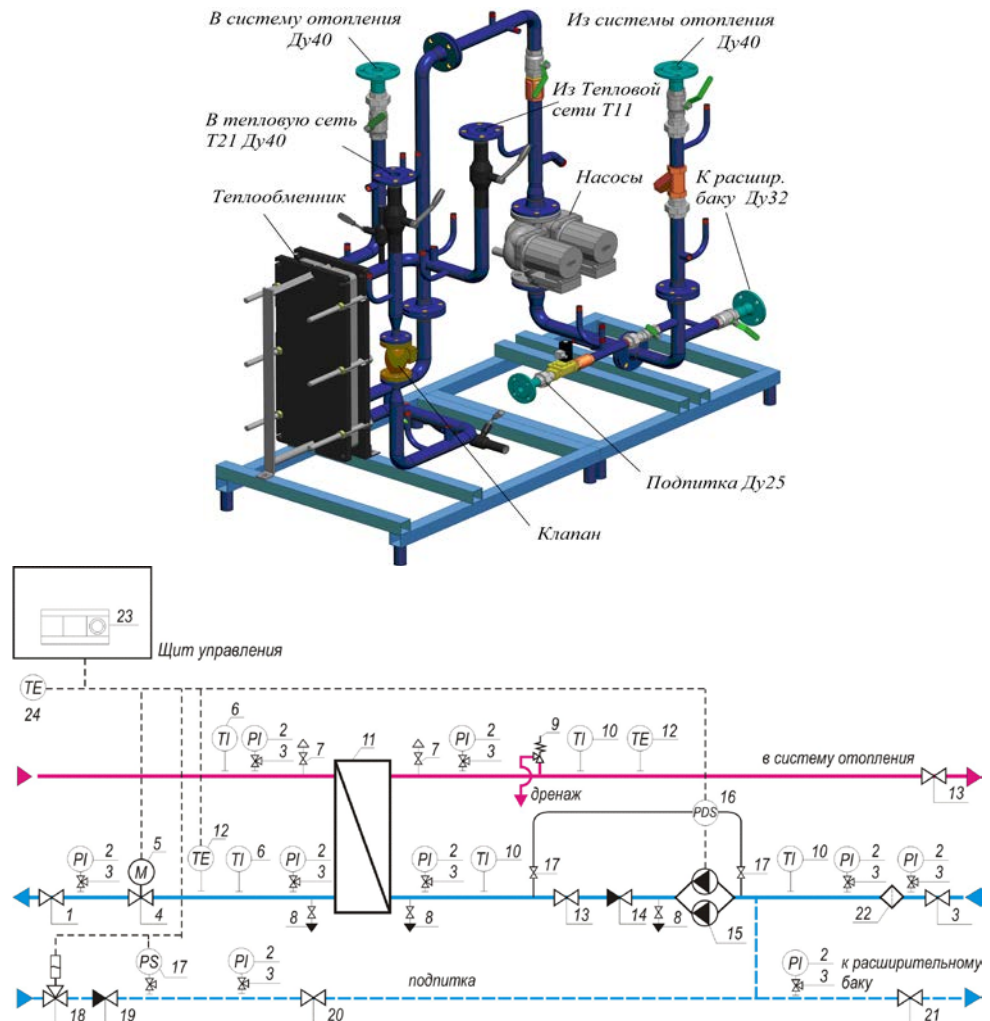


Рис. 2. Сборочная 3D-модель и гидравлическая схема «Блока отопления»: 1, 3, 13, 20, 21 — кран шаровой; 2, 3 — манометр с краном; 4 — двухходовой регулирующий клапан; 5 — привод клапана; 6, 10 — термометр; 7 — воздушник; 8 — спускник; 9 — предохранительный клапан; 11 — теплообменник; 12 — датчик температуры; 14, 19 — клапан обратный; 15 — насос циркуляционный; 16 — регулятор перепада давления; 17 — прессостат с краном; 18 — соленоидный клапан; 22 — фильтр; 23 — контроллер; 24 — датчик температуры наружного воздуха

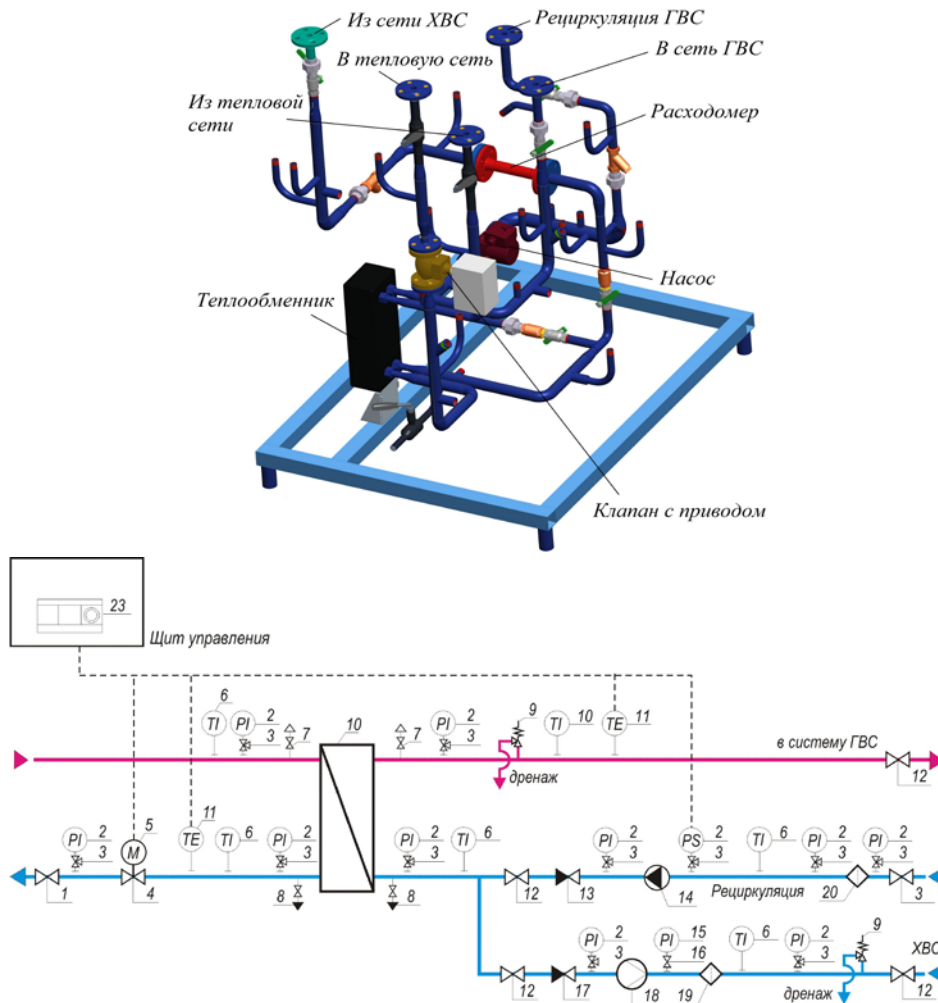


Рис. 3. Сборочная 3D-модель и гидравлическая схема «Блока ГВС»: 4 — двухходовой регулирующий клапан; 5 — электропривод; 7 — воздушные краны; 9 — клапан предохранительный; 10 — теплообменник; 14 — насос циркуляционный; 18 — расходомер. Остальные элементы и обозначения см. на рис. 1 и 3

Блок ГВС (см. рис. 3). Греющая вода из тепловой сети (первичный теплоноситель) поступает из теплосети к пластинчатому теплообменнику 10 системы горячего водоснабжения. Изменять количество первичного теплоносителя, поступающего в теплообменник ГВС, можно с помощью регулирующего клапана 4, с приводом 5. Он установлен у теплообменника, на обратном теплопроводе T_2 .

Датчики температуры горячей воды на выходе из теплообменника 11 направляют данные о температуре теплоносителя, поступающей в систему горячего водоснабжения в контроллер блока управления БТП. Блок управления сравнивает эту температуру t_r с заданным значением (согласно п. 7.6 [3] t_r должна быть не ниже 60 и не выше 75 °С). В соответствии с полученными данными двухходовой регулирующий клапан 4 получает сигнал на открытие или закрытие.

Вторичный теплоноситель для теплообменника горячего водоснабжения — это холодная водопроводная вода t_x , поступающая в тепловой пункт по водопроводу В1 из сети ХВС. В системе ГВС предусмотрен циркуляционный трубопровод с принудительной циркуляцией центробежным насосом 14. Термометр 6 определяет температуру циркуляционной воды $t_{\text{ц}}$. Учет расхода воды на горячее водоснабжение производится расходомером 18, установленным на трубопроводе холодной водопроводной воды ХВС перед теплообменником 10. Для предотвращения поступления горячей воды в водопровод В1 необходим обратный клапан 17. Он предупреждает и перетекание водопроводной воды в циркуляционный трубопровод. Обратный клапан 13 установлен после циркуляционного насоса 14 также с целью недопущения перетоков воды. Манометром 2 на трубопроводе t_r определяется давление горячей воды на выходе из теплообменника 10 в блоке ГВС. Установленный здесь же предохранительный клапан 9 рассчитан и отрегулирован так, чтобы давление в трубопроводе t_r не превышало расчетное более чем на 10 %.

Контроллер «ECL Comfort 310» выполняет автоматическое регулирование подачи теплоты в систему отопления по заданному отопительному графику в зависимости от температуры наружного воздуха, автоматическое поддержание температуры воды в системах горячего водоснабжения и температуры воздуха в системах вентиляции Центра по протоколу А368.1. Контроллер введен в систему диспетчеризации здания. Автоматизация БТП позволяет обеспечить тепловой комфорт в помещениях при минимальных эксплуатационных затратах [5, 6].

В нашем случае в функционал контроллера, кроме всего прочего, входит режим ручного управления, так что на стенде БТП можно проводить лабораторные работы как дистанционно, с помощью компьютера, так и непосредственно на самой установке, меняя степень закрытия регулирующего клапана (поз. 5) в «ручном режиме» контроллера. Этот функционал даст возможность проводить опыты на теплообменном оборудовании БТП, исследуя возможности переноса тепла при разных параметрах и режимах движения теплоносителя. Проведение лабораторных работ на автоматически действующем тепловом пункте здания — сложная задача. Эксперты в работах, посвященных повышению энергоэффективности теплообменного оборудования [7—9], рассматривают задачи проектирования пластинчатых теплообменников в системах централизованного теплоснабжения, определения оптимальных условий работы [10], проблемы снижения загрязнения теплообменника и оптимальный график очистки, особенности работы пластинчатых теплообменников при малых перепадах температур [11—13]. В состав лабораторного практикума входят работы по исследованию теплотехнических характеристик пластинчатых теплообменников в блоках систем отопления и ГВС. В ходе экспериментов студенты определяют влияние расхода теплоносителя на эффективность теплообмена, сравнивают экспериментальное и расчетное значения коэффициента теплопередачи оборудования.

На стенде также предусмотрены лабораторные работы по определению расхода тепловой энергии на системы жизнеобеспечения здания. Магистранты получают знания и навыки работы с контроллером «ECL Comfort 310» по приложению А368.1, получают умения регулирования температуры теплоносителя в зависимости от текущей температуры наружного воздуха, регулиро-

вания температуры подачи для системы отопления в зависимости от температуры теплоносителя в тепловой сети, ограничения потребляемого расхода теплоносителя для экономии тепловой энергии.

Отдельная группа лабораторных работ на стенде «Блочный тепловой пункт» — испытания эффективности тепловой изоляции, расчет теплотерь изолированного трубопровода системы теплоснабжения на основе экспериментального исследования изменений температуры на поверхности изоляции. Исследования [14—16] показывают, что все более важными вопросами становится уменьшение тепловых потерь при транспортировке, экономические и экологические последствия изоляции трубопроводов централизованного теплоснабжения. Значение температуры на поверхности изоляции студенты определяют с помощью пирометра — инфракрасного термометра, предназначенного для дистанционного измерения температуры поверхности твердых тел. Для расчетного определения требуемой теплозащитной конструкции трубопроводов используют законы теплопередачи через цилиндрические слои и поверхности [17]. Перечисленные выше умения будут необходимы выпускникам в их профессиональной деятельности при проведении аудита абонентских вводов в зданиях разного назначения.

Выводы

Лабораторная база Центра инженерных систем в строительстве «SYSTEMS» КГАСУ позволяет готовить квалифицированных специалистов для строительной отрасли. На примере перечня работ лабораторного практикума на блочном тепловом пункте показаны возможности проведения экспериментальных исследований по оценке эффективности пластинчатых теплообменных аппаратов при изменении режимов циркуляции теплоносителя, обучения навыкам регулирования параметров работы БТП с помощью современного программного комплекса. В учебном процессе лабораторный стенд можно использовать как при изучении специальных дисциплин, так и при проведении НИР в рамках магистратуры по программе подготовки «Системы теплогазоснабжения и вентиляции».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костуганов А. Б., Оденбах И. А. Роль лабораторной базы в формировании профессиональных компетенций студентов профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция» // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской науч.-метод. конференции (с международным участием), 3—5 февр. 2015 г., Оренбург, 2015. С. 581—586.
2. Костуганов А. Б., Оденбах И. А., Демидочкин В. В. Создание современной лабораторной базы вуза как средства формирования профессиональных компетенций будущих специалистов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской науч.-метод. конференции, 1—4 февр. 2017 г., Оренбург, 2017. С. 795—803.
3. Пырков В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование : учебник. Киев : ООО «Данфос ТОВ», 2008. 252 с.
4. Мамченко В. О., Малышев А. А. Пластинчатые теплообменники в низкотемпературной технике и биотехнологических процессах : учеб. пособие. СПб. : НИУ ИТМО ; ИХиБТ, 2014. 116 с.
5. Автоматизация и диспетчеризация инженерных систем / П. А. Дворцов, И. Н. Комаров, Д. Р. Вафина, С. В. Уразайкин // Молодой ученый. 2016. № 27. С. 61—64.
6. Степанов И. Д. Автоматизация тепловых пунктов // АВОК. 2010. № 5. С. 34—43.
7. Online fouling detection of domestic hot water heat exchangers / O. Gudmundsson, O. Palsson, H. Palsson, S. Lalot // Heat Transfer Engineering. 2016. Vol. 15. Pp. 1231—1241.

8. Recent research contributions concerning use of nanofluids in heat exchangers: A critical review / M. Bahiraei, R. Rahmani, A. Yaghoobi, E. Khodabandeh etc. // *Applied Thermal Engineering*. 2018.
9. Improving of the heat supply energy efficiency in Russian cities through the individual heat points introduction / N. D. Chichirova, I. G. Akhmetova, K. V. Lapin, A. R. Gilmanova etc. // *E3S Web of Conferences*. Vol. 124. 2019.
10. Mandic D. CFD modeling of turbulence in channels of plate heat exchangers // *International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer*. Vol. 103. 2018.
11. Experimental determination of fouling factor on plate heat exchangers in district heating system / S. Genić, B. Jaćimović, D. Mandić, D. Petrović // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 50 Pp. 204—211.
12. Barzegarian R., Moraveji M., Aloueyan A. Experimental investigation on heat transfer characteristics and pressure drop of BPHE (brazed plate heat exchanger) using TiO₂-water nanofluid // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. Vol. 74. Pp. 11—18.
13. Faizal M., Ahmed M. Experimental studies on a corrugated plate heat exchanger for small temperature difference applications // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2012. Vol. 36 Pp. 242—248.
14. Lund R., Mohammadi S. Choice of insulation standard for pipe networks in 4th generation district heating systems // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 98. Pp. 256—264.
15. Başoğlu Y., Demircan C., Keçebaş A. Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 101. Pp. 121—130.
16. Zwierzchowski R., Niemyjski O. Influence of Different Operating Conditions of a District Heating and Cooling System on Heat Transportation Losses of a District Heating Network // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 471.
17. Ахмерова Г. М., Сафиуллин Р. Г. Блочный тепловой пункт. Указания по выполнению лабораторных работ. Казань : Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2019. 53 с.

© Ахмерова Г. М., Сафиуллин Р. Г., 2020

Поступила в редакцию
в июне 2020 г.

Ссылка для цитирования:

Ахмерова Г. М., Сафиуллин Р. Г. Использование современной лабораторной базы при подготовке магистрантов профиля «Системы теплогоснабжения и вентиляции» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 191—199.

Об авторах:

Ахмерова Гузель Мневеровна — канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции, Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1; akhmerovaag@mail.ru

Сафиуллин Ринат Габдуллович — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции, Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1; safiullin_rinat@mail.ru

Guzel M. Akhmerova, Rinat G. Safiullin

Kazan State University of Architecture and Engineering

USE OF MODERN LABORATORY BASE IN TRAINING OF MASTERS OF PROFILE «HEAT AND GAS SUPPLY AND VENTILATION SYSTEMS»

On the basis of the innovative Center of engineering systems in construction of «SYSTEMS/SYSTEM» of KGASU the modern laboratory base for training of masters of the direction of preparation Construction of a profile of the System of heatgas supply and ventilation is created. The article provides data on the structural and functional structure of the laboratory plant «Block

Thermal Point», which is intended for the ex-peripheral study of the impact of heat release modes on the processes taking place in the heating and hot water supply systems of the building. The concept of the Center is based on the possibility of artificial introduction of disturbances in the functioning of heating, ventilation and conditioning elements of the building, so that students can get skills of real work on modern equipment, both in standard and in extreme situations. Possibilities of using existing equipment to improve the quality of the educational process are discussed.

Key words: professional competencies, experimental research, heat point equipment, plate heat exchangers.

For citation:

Akhmerova G. M., Safiullin R. G. [Use of modern laboratory base in training of masters of profile «Heat and gas supply and ventilation systems»]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 3, pp. 191—199.

About authors:

Guzel M. Akhmerova — Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Docent of Heat Power Engineering, Gas Supply and Ventilation Department, Kazan State University of Architecture and Engineering. 1, Zelenaya st., Kazan, 420042, Russian Federation; akhmerovaag@mail.ru

Rinat G. Safiullin — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Docent of Heat Power Engineering, Gas Supply and Ventilation Department, Kazan State University of Architecture and Engineering. 1, Zelenaya st., Kazan, 420042, Russian Federation; safiullin_rinat@mail.ru

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» **включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.**

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf>), *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 A4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), *экспликация* в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (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 (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ <http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна). vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-
дия. **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолГГУ по адресу: <http://vgasu.ru/publishing/journals/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2020. Выпуск 3(80)**

Корректор *Н. В. Юдина*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 25.09.2020. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 7,2. Усл. печ. л. 17,6. Тираж 500 экз. Заказ № 91

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