

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск **Серия: Строительство и архитектура** **2018**
51 (70) Научно-теоретический и производственно-практический журнал

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

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

Содержание

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

- Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Степанова Е. А.** Цель и задачи инженерно-геологических изысканий для проектирования гидротехнического строительства на просадочных грунтах 5
- Сопегин Г. В., Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б.** Анализ результатов натурных испытаний нагружением стеновых панелей из таумалита 14
- Туманов С. Л., Калиновский С. А., Фетисов Ю. М., Рисунов А. Р.** Исследование напряженного состояния приоткосной зоны грунтовой выработки в зависимости от коэффициента бокового давления 26
- Фомичев В. Т., Савченко А. В., Губаревич Г. П.** Применение добавок нитропроизводных бензимидазола для защиты стальных конструкций от коррозии 34
- Холодов С. П., Преснов О. М., Серватинский В. В.** Выбор размеров уширения для буронабивных свай с уширенной пятой 44
- Чесноков А. В., Михайлов В. В., Долматов И. В.** Предварительно напряженная конструкция покрытия с гибким верхним поясом 48

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Бурлаченко О. В., Старовой К. С.** Исследование влияния геоматериалов на триботехнические свойства пар трения строительных машин 57

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Карасев Г. М., Бардыкова А. А., Штадлер В. В.** Вычисление перемещений конца стержня при нагрузках, превышающих критические значения 67

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б.** Свойства полисиликатных связующих для золь-силикатных красок 78

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

- Девятков М. М., Любченко А. С., Моисеенко С. А.** Формирование велосипедной инфраструктуры в г. Волгограде 83
- Скоробогатченко Д. А., Засорина Г. Д.** Обеспечение проежаемости сельскохозяйственных дорог на основе применения переуплотненных грунтов, армированных отходами агропромышленного производства 92
- Стефаненко И. В., Алексиков С. В., Болдин А. И., Сомова К. В.** Обоснование схемы автомобильных парковок 103
- Сухачева М. П., Коростелева Н. В.** Оптимизация транспортной инфраструктуры крупнейших городов как метод создания экологически благополучной городской среды 110
- Шеховцова С. Ю., Высоцкая М. А.** Наноразмерный модификатор как инструмент повышения колее-стойкости асфальтобетона от пластических деформаций 120

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

- Дубачева Л. В., Камьянова М. С., Ефремова Т. В.** Особенности применения приборов учета расхода газа в системах газопотребления жилых домов 130

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Меренцов Н. А., Бохан С. А., Лебедев В. Н., Балашов В. А., Голованчиков А. Б.** Имитационное моделирование проточного фильтрования 140
- Москвичева А. В., Пухов М. В., Москвичева Е. В., Доскина Э. П., Игнаткина Д. О., Трегубов А. Ю.** Практические аспекты электрохимической очистки фенолсодержащих сточных вод 150
- Москвичева А. В., Трегубов А. Ю., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Пухов М. В.** Сорбционная очистка воды подземных источников 160

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Азаров В. Н., Козловцева Е. Ю.** Исследование распределения частиц пыли в помещении здания общественного назначения 170
- Сенченко В. А., Пушенко С. Л., Стасева Е. В.** Концепция технических мер безопасности при выполнении высотных работ на крышах зданий в условиях арктического Севера 178

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Анопин В. Н.** Ландшафтно-архитектурный подход к зеленому строительству на территориях с различными типами застройки г. Волгограда 186
- Поляков В. Г., Чебанова С. А., Дубовская Е. А.** Обеспечение застройщика информацией о зонах с особыми условиями использования территорий при выборе участка под строительство 198
- Поляков В. Г., Чебанова С. А., Ступницкий В. С.** Повышение экологической безопасности при строительстве зданий в стесненных городских условиях 205
- Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фетисов Ю. М.** Устройство для пылеподавления 212

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

- Ястребова Н. А.** Особенности расселения и перспективы развития исторических городских поселений Волгоградской области 221

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

- Калашников С. Ю., Токарев Д. А.** Об одном аспекте эксплуатационной целесообразности обобщенного жилого объекта недвижимости 231

Contents

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

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Stepanova E. A. The purpose and tasks of engineering and geological investigations for the design of hydraulic engineering on collapsible soils	5
Sopegin G. V., Sursanov D. N., Ponomarev A. B. The analysis of the results of field tests by loading of taumalit wall panels	14
Tumanov S. L., Kalinovskii S. A., Fetisov Yu. M., Risunov A. R. Study of the stress state of near-slope zone of soil development depending on the coefficient of lateral pressure	26
Fomichev V. T., Savchenko A. V., Gubarevich G. P. Use of benzimidazole nitrated derivative additives for corrosion protection of steel structures	34
Kholodov S. P., Presnov O. M., Servatinskii V. V. The choice of the dimension of broadening for bored piles with an enlarged base	44
Chesnokov A. V., Mikhailov V. V., Dolmatov I. V. Pre-stressed roof structure with flexible top chord	48

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

Burlachenko O. V., Starovoi K. S. Influence of geomaterials on tribotechnical properties of friction pairs of building machines	57
--	----

STRUCTURAL MECHANICS

Karasev G. M., Bardykova A. A., Shtadler V. V. Calculation of shifts of rod end at loads exceeding critical values	67
---	----

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Loganina V. I., Kisilitsyna S. N., Mazhitov E. B. Properties of polysilicate binders for sol-silicate paints	78
---	----

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

Devyatov M. M., Lyubchenko A. S., Moiseenko S. A. Cycle infrastructure development in Volgograd	83
Skorobogatchenko D. A., Zasorina G. D. Increasing the possibility to use agricultural roads based on overconsolidated soil reinforced with wastes of agro-industry	92
Stefanenko I. V., Aleksikov S. V., Boldin A. I., Somova K. V. Justification of the scheme of parking lots	103
Sukhacheva M. P., Korosteleva N. V. Optimization of the transport infrastructure of the largest cities as a method to create the environmentally friendly urban environment	110
Shekhovtsova S. Yu., Vysotskaya M. A. Nanoscale modifier as a tool of increasing stability of track of the asphalt concrete effects from plastic deformations	120

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

Dubacheva L. V., Kam'yanova M. S., Efremova T. V. Peculiarities of use of gas flow meters in gas consumption systems in residential houses	130
---	-----

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Merentsov N. A., Bokhan S. A., Lebedev V. N., Balashov V. A., Golovanchikov A. B. Imitative modeling of the flow filtration	140
Moskvicheva A. V., Pukhov M. V., Moskvicheva E. V., Doskina E. P., Ignatkina D. O., Tregubov A. Yu. Practical aspects of electrochemical purification of phenol-containing wastewater	150
Moskvicheva A. V., Tregubov A. Yu., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Pukhov M. V. Sorption purification of underground waters	160

LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

Azarov V. N., Kozlovtsseva E. Yu. Analysis of dust particles distribution indoors in public buildings	170
Senchenko V. A., Pushenko S. L., Staseva E. V. Concept of technical security measures when performing high-rise works on roofs of buildings in the conditions of the Arctic North	178

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Anopin V. N.** Landscape and architectural approach to green construction on the territory with various types of development in Volgograd 186
- Polyakov V. G., Chebanova S. A., Dubovskaya E. A.** Providing of information to a developer about the areas with particular conditions of use of territories in case of choosing a construction site 198
- Polyakov V. G., Chebanova S. A., Stupnitskii V. S.** Increase in ecological safety at the construction of buildings in confined urban conditions 205
- Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Fetisov Yu. M.** Device for dust prevention 212

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

- Yastrebova N. A.** Peculiarities of displacement and prospects of development of historical urban settlements in Volgograd oblast 221

CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY

- Kalashnikov S. Yu., Tokarev D. A.** Towards an aspect of operational expediency of a complex real estate object 231

УДК 624.131.1:624.131.24

Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский, Е. А. Степанова

Волгоградский государственный технический университет

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Охарактеризованы основные виды инженерно-геологических исследований на различных стадиях проектирования гидротехнических сооружений, возводимых на просадочных грунтах. На примере субэкральных лессовых грунтов Северного Причерноморья даны рекомендации по оценке показателей просадочности с учетом специфики гидротехнического строительства.

Ключевые слова: лессовые грунты, просадочность, послепросадочное уплотнение, инженерно-геологические изыскания.

Главной особенностью проектных работ для строительства в целом и гидротехнического строительства в частности является их стадийность. Инженерно-геологические изыскания выполняются на всех стадиях проектирования, однако цели и задачи их на различных этапах различны.

Основная цель инженерно-геологических изысканий заключается в обеспечении проектирования необходимой и достаточной информацией об инженерно-геологических условиях территории строительства, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений. Инженерно-геологическая оценка территории включает оценку и прогноз изменения следующих компонентов: физико-географической обстановки (климат, рельеф, орогидрография); геологического строения; гидрогеологических условий; состава, строения и свойств грунтов; физико-геологических процессов и явлений. Состав и объем инженерно-геологических изысканий устанавливаются в соответствии со сложностью инженерно-геологических условий, стадией проектирования и характера проектируемого объекта. Детальность характеристики компонента инженерно-геологических условий находится в зависимости от цели и стадии проектирования. Так, для составления проекта городской планировки особое внимание уделяется выявлению и локализации опасных физико-геологических процессов. На стадии рабочих проектов и рабочей документации основное внимание уделяется оценке состава и свойств грунтов массива, определению нормальных условий эксплуатации сооружения, а также прогнозу их изменения.

Инженерно-геологические изыскания — это всегда ответственная работа, от полноты и качества которой зависит стоимость проекта, эффективность строительства и безаварийная эксплуатация построенного сооружения, а также последующая его реконструкция и ликвидация. Современное проектирование военных и народнохозяйственных объектов предъявляет высокое требование к своевременности, информативности и достоверности материалов инженерно-геологических изысканий на территориях, сложенных лессовыми просадочными грунтами. Отсутствие таких материалов исключает возможность вариативного проектирования, что приводит к удорожанию проекта и строительства и

не дает должной гарантии надежной эксплуатации сооружения. Деформация зданий и сооружений на «Атоммаше», построенном на лессовых просадочных грунтах большой мощности, — красноречивый пример проектирования и строительства крупного объекта в условиях отсутствия опережающей и достоверной информации об инженерно-геологических условиях территории строительства.

Предпроектными документами для отрасли водного хозяйства, кроме ТЭО, являются схемы комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов по регионам и бассейнам крупных рек; их составляют на 15-летний период и обновляют через каждые пять лет. В них обосновывают водораспределение по отраслям народного хозяйства и административным районам, определяют целесообразность и хозяйственную необходимость гидротехнического строительства. Отраслевые схемы отражают перспективы развития разных отраслей народного хозяйства в пределах страны, республики, района.

Для обоснования схем на основе анализа гидрогеологических и инженерно-геологических условий территорий выполняют региональный прогноз их изменения под влиянием водохозяйственного строительства и мелиорации земель, обосновывая выбор первоочередных объектов. На основе аэрокосмических материалов уточняют геолого-структурные, морфогенетические, ландшафтные элементы, почвенный покров, характер геологических процессов и явлений. Оценка инженерно-геологических условий дают с учетом обобщения и схематизации информации, в основном по результатам ранее проведенных изысканий и аналогов, материалам гидрогеологических и инженерно-геологических съемок организаций бывшего Министерства геологии СССР и более поздних исследований региона.

Предпроектные работы завершаются ТЭО, где должна быть оценена стоимость строительства объекта и его технико-экономическая эффективность. На основании ТЭО выделяют первую очередь строительства, обосновывают принципиальные технические решения, составляют и выбирают варианты размещения основных гидротехнических сооружений, определяют направление дальнейших инженерно-геологических изысканий, уточняют предварительные прогнозные расчеты. Это требует более глубокого, чем в схемах, учета природных условий и прогноза их изменений, инженерно-геологической характеристики конкурирующих вариантов. Задачу решают путем проведения специализированных съемок среднего масштаба и разведочных работ (геофизические, бурение) на основных вариантах размещения сооружений с целью обоснования выбора оптимального варианта.

Инженерно-геологические прогнозы в ТЭО объектов гидротехники и мелиорации отображают на картах районирования масштабов 1 : 50 000...1 : 200 000. В зависимости от местных условий такие карты могут быть дополнены специальными, например просадочными и др. Просадочность оценивается по результатам работ на опорных участках путем статистической обработки материалов изысканий. При недостаточном количестве прямых определений пространственную изменчивость просадочности оценивают по косвенным признакам.

Проект является основным документом, в котором разрабатывают технические решения и технологические вопросы гидротехнических сооружений,

определяют стоимость строительства, составляют проект производства работ. Инженерно-геологическое обоснование должно обеспечить ответ на вопросы, влияющие на проектные и конструктивные решения, а также на уточнение стоимости строительства (в меньшую сторону по сравнению с ТЭО). С этой целью при разработке проекта выполняют основной объем работ и дают количественную оценку инженерно-геологических условий на участках размещения сооружений, по трассам линейных объектов.

Инженерно-геологические прогнозы должны базироваться на результатах различных видов и методов исследований. Среди них особое место занимают геофизические работы, позволяющие экстраполировать данные точечных определений состояния и свойств грунтов, полученные при съемке. По результатам горно-буровых и опытно-фильтрационных работ устанавливают положение регионального и локальных водоупоров, изучают строение зоны аэрации, водопроницаемость пород в этой и в водонасыщенной зонах. Постоянно растет роль полевых определений физико-механических свойств грунтов путем динамического и статистического зондирования, радиометрическими методами. Расчетные значения показателей состояния и свойств грунтов определяют путем статистического анализа и другими математическими методами с оценкой точности полученных решений.

Качество прогноза геологических процессов на стадии проекта повышается при обоснованном привлечении аналогов. Так, для оценки суффозионной устойчивости лессовых грунтов следует учесть опыт строительства и противосуффозионных мероприятий, например на Большом ставропольском канале [1].

Просадочность лессовых пород должна быть изучена с детальностью, обеспечивающей прогноз просадок на площади мелиорации и на участках размещения гидротехнических сооружений и разработку противопросадочных мероприятий. Уточняют мощность просадочного слоя H_{sl} и характер изменения просадочности по глубине для всех стратиграфо-генетических типов лессовых пород в разных геоморфологических условиях. Ввиду структурной неустойчивости и легкой разрушаемости лессовых пород для установления H_{sl} используют опорные шурфы и дудки, так как отбор ненарушенных образцов из скважин пока малоэффективен. Тем не менее исследования Ю. И. Олянского и др. [2] по отбору образцов лессового грунта различными методами позволили сделать вывод, что для лессовых грунтов Северного Причерноморья (суглинков) отбор образцов может осуществляться задавливаемыми тонкостенными грунтоносами диаметром не менее 146 мм. В этом случае нарушение структуры грунта либо не происходит вообще, либо оно незначительно (табл. 1).

В слабоизученных районах для проекта с целью проверки лабораторных определений просадочности натурными данными проводят опытное замачивание котлованов.

Геологический контроль на стадии эксплуатации ГТС имеет три основные задачи: 1) наблюдение за состоянием гидротехнических сооружений (плотины, дамбы, водохранилища, водозаборные узлы, каналы, коллектора, дрены и т. д.), своевременное выявление нарушений или неблагоприятных проявлений в ходе их эксплуатации, участие в выборе профилактических или ремонтных мероприятий; 2) изучение геологических процессов в зоне влияния сооружений

(подтопление, переработка берегов, суффозия, оползни, просадки), временной прогноз их развития, рекомендации по предупреждению или торможению; 3) наблюдения за режимом грунтовых вод на мелиоративных землях и проявлениями геологических процессов, краткосрочные прогнозы, рекомендации по охране природной среды.

Т а б л и ц а 1

Показатели свойств лессовых пород в зависимости от способа отбора монолитов (в числителе среднее, в знаменателе стандартное отклонение, справа — количество определений)

Способ отбора монолитов грунта	Суглинки		Супеси	
	n, %	$\varepsilon_{sl}^{0,3}$	n, %	$\varepsilon_{sl}^{0,3}$
Из шурфа стандартный	$\frac{48,6}{2,1}^{60}$	$\frac{0,047}{0,017}^{34}$	$\frac{42,8}{1,3}^{45}$	$\frac{0,038}{0,015}^{14}$
Из скважины грунтоносами диаметром:				
146 мм	$\frac{46,7}{2,8}^{54}$	$\frac{0,044}{0,022}^{17}$	$\frac{41,8}{2,7}^{33}$	$\frac{0,015}{0,009}^{11}$
127 мм	$\frac{46,7}{2,3}^{43}$	$\frac{0,047}{0,007}^{14}$	$\frac{41,9}{3,3}^{36}$	$\frac{0,013}{0,012}^{11}$
108 мм	$\frac{45,7}{2,1}^{22}$	$\frac{0,036}{0,018}^{12}$	$\frac{42,1}{4,4}^{46}$	$\frac{0,010}{0,011}^9$

Главными задачами, которые инженер-геолог решает при выполнении инженерно-геологических изысканий на площадке, сложенной лессовыми грунтами, являются следующие:

1. Изучение мощности и площади распространения лессовых грунтов. Это обеспечивается проходкой горно-буровых выработок на всю мощность лессовой толщи (склонной к просадке) независимо от типа, вида и этажности проектируемого сооружения.

2. Определение возможной просадки от собственного веса грунта и мощности просадочной толщи. Вся вскрытая лессовая толща опробовывается отбором образцов грунта ненарушенного сложения (монолитов). Причем по разрезу должны быть опробованы все литологические виды лессового грунта. Интервал опробования не должен превышать 1,0...2,0 м. Из отобранных монолитов выполняют компрессионные испытания методом «одной кривой» для определения просадки толщи от собственного веса и «двух кривых» для изучения величины просадочности при различных давлениях на грунт. В отдельных случаях для определения просадки толщи от собственного веса выполняют замачивание опытных котлованов. Последний метод используется в основном при изучении провально-просадочных грунтов. Для других он мало эффективен из-за необходимости чрезвычайно длительного проведения опыта (до одного года). Практи-

чески для всех лессовых пород характерно несовпадение данных о величине относительной просадочности, определенной в компрессионных приборах методами «одной кривой» (ε_{sl}^1) и «двух кривых» (ε_{sl}^2). Анализируя причины несовпадения, Н. И. Кригер выделил множество из них [3]. Ю. И. Олянский [4] получил следующие значения корректировочного коэффициента $K = \frac{\varepsilon_{sl}^2}{\varepsilon_{sl}^1}$ для двух литологических типов лессовых грунтов г. Кишинева (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Характеристика коэффициента $K = \frac{\varepsilon_{sl}^2}{\varepsilon_{sl}^1}$

Типы лессовых пород	Статистические характеристики			
	Среднее значение	Пределы колебания	Стандартное отклонение	Количество определений
Супеси и легкие суглинки	1,11	0,71...2,33	0,54	143
Средние суглинки	1,20	0,58...2,02	0,63	92

3. Определение начального просадочного давления лессовых грунтов. Для этой цели используются результаты компрессионных испытаний по методу «двух кривых». Строятся графики зависимости начального просадочного давления от глубины. Одновременно рекомендуется выполнить опытное (полевое) изучение грунтов штампом площадью 5000 см² по схеме «двух кривых». Это позволит определить значение начального просадочного давления в натуральных условиях и рассчитать корректировочные коэффициенты перехода от лабораторных испытаний к натурным.

Для вышеуказанных лессовых грунтов территории г. Кишинева получены следующие значения корректировочного коэффициента (табл. 3) [5].

4. При изучении лессовых оснований особая роль принадлежит оценке величины послепросадочного уплотнения, которая может достигать у некоторых типов лессовых отложений 100 % и более относительно просадочности определенной по гостированной методике. Такие исследования выполняются в компрессионных приборах в условиях длительной фильтрации воды через образец грунта (не менее 30 сут)¹. Полученные результаты позволят откорректировать величину относительной просадочности и начальное просадочное давление, что даст возможность прогнозировать величину просадки сооружений с большей достоверностью.

В табл. 4 приведены результаты определения просадочности образцов лессовых пород г. Кишинева, полученные различными методами: по ГОСТ 23161-78² и при условии фильтрации воды через образец [6]. Различия весьма

¹ ВСН-П-23-75. Инструкция по проектированию оросительных систем на просадочных грунтах. М.: Минводхоз СССР, 1975. 118 с.

² ГОСТ 23161-78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. М.: Изд-во стандартов, 1978. 13 с.

существенные. Авторами предложена методика обработки лабораторных данных по определению величины послепросадочного уплотнения и рекомендован для прогнозирования метод вероятностных аналогий.

Т а б л и ц а 3.

Значения начального просадочного давления лессовых пород, определенного лабораторными и полевыми методами

Типы лессовых пород	Физические характеристики			Начальное просадочное давление, МПа		Корректировочный коэффициент $K = \frac{P_{sl}^n}{P_{sl}^m}$
	W	J_p	$n, \%$	P_{sl}^n	P_{sl}^m	
Супеси и легкие суглинки	0,11	0,08	45,6	$\frac{0,08}{77; 0,06}$	$\frac{0,09}{10; 0,008}$	0,87
Средние и тяжелые суглинки	0,15	0,12	46,5	$\frac{0,14}{75; 0,005}$	$\frac{0,19}{22; 0,13}$	0,73

Примечание: 1) P_{sl}^n, P_{sl}^m — по результатам компрессионных и штамповых испытаний соответственно; 2) в числителе — среднее, в знаменателе — количество определений и стандартное отклонение.

Т а б л и ц а 4

Показатели относительной деформации $\epsilon_{sl}^{0,25}$ некоторых образцов лессовых пород в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды

№ образца	Провальная просадка по ГОСТ 23161-78	Замедленная просадка	Послепросадочная деформация	Общая относительная деформация
178	0,014	0,016	0,015	0,045
314	0,042	0,005	0,037	0,084
315	0,020	0,002	0,016	0,038
316	0,017	0,008	0,021	0,046
274	0,010	0	0,002	0,012
226	0,022	0,004	0,034	0,060
227	0,015	0,018	0,011	0,044

5. Определение начальной просадочной влажности. Такие исследования проводятся в одометрах. Целесообразность их должна быть обусловлена характером проектируемого объекта и режимом его эксплуатации.

6. Определение прочностных характеристик лессового просадочного грунта. К прочностным характеристикам относятся: удельное сцепление и угол внутреннего трения. Эти данные получают методом испытаний грунтов на срез в сдвиговых приборах. Испытание образцов грунта выполняется после их водонасыщения в одометре без возможности набухания при верти-

кальных нагрузках 0,05...0,15 МПа. Для обеспечения проектировщиков данными при проектировании противоопасочных мероприятий определяют прочность образцов грунта, уплотненных до $\rho_d = 1,65 \text{ г/см}^3$. Испытания проводятся по методу неконсолидированного среза при вертикальных нагрузках 0,1...0,2...0,3 МПа.

7. Определение модуля деформации. Изучение сжимаемости осуществляется по результатам компрессионных испытаний — графикам зависимости деформации от нагрузки. Для расчетов используют прямолинейные участки графиков в интервале нагрузок 0,1...0,2 МПа. Кроме того, модуль деформации рассчитывается по данным статических нагрузок на штамп площадью 5000 см² в шурфах. Это дает возможность получить корректировочные коэффициенты для перехода от компрессионных испытаний к натурным опытам.

8. Определение оптимальной влажности уплотнения лессового грунта. Эти данные используются при проектировании уплотнения лессовых грунтов различными методами. Рассчитывается оптимальная влажность по результатам специальных лабораторных опытов.

9. Характеристика участка по потенциальной подтопляемости. Эти сведения являются чрезвычайно важными. Они призваны дать прогноз изменения уровня подземных вод на участке после строительства в процессе эксплуатации территории и объекта. В зависимости от прогнозируемого изменения уровня подземных вод выбираются противоопасочные мероприятия, мероприятия по устройству гидроизоляции подземных частей здания, а также определяется категория грунтов по сейсмическим свойствам (в сейсмических районах).

10. При разработке мероприятий по технической мелиорации лессовых грунтов (улучшению их свойств) по специальному заданию могут выполняться следующие исследования: определение гранулометрического и микроагрегатного состава лессового грунта, изучение химического состава водных вытяжек, определение емкости поглощения и состава обменных катионов, минеральный состав (по фракциям), определение коэффициента фильтрации (в вертикальном и горизонтальном направлениях) и др.

11. Изучение опыта строительства на просадочных грунтах в регионе. Основной проблемой для изыскателей, занимающихся изучением лессовых грунтов для целей строительства и особенно гидротехнического строительства, является наличие в настоящее время в арсенале изыскательской организации большого количества различных методов и методик оценки просадочных свойств грунтов будущего основания инженерного сооружения. Результаты, полученные разными методами, очень часто плохо коррелируют между собой, а иногда и вообще являются противоречивыми. Поэтому определение основных характеристик лессовой толщи — начального просадочного давления, просадки от собственного веса, а следовательно, и типа грунтовых условий по просадочности³ — часто бывает весьма сложной задачей.

Достаточно проанализировать данные по величине относительной просадочности $\epsilon_{sl}^{0,25}$ лессовых пород территории г. Кишинева (табл. 5), полученные разными методами, чтобы оценить глубину проблемы [7].

³ СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. М., 1985. 42 с.

Сравнительная характеристика величины $\varepsilon_{sl}^{0,25}$ по данным различных методов исследований

Метод определения показателя	Участок 1, мкр-н Боюкань	Участок 2, мкр-н Будешть
	Супеси и легкие суглинки	Средние и тяжелые суглинки
Компрессионные испытания по схеме «двух кривых»	0,015	0,011
Компрессионные испытания по схеме «одной кривой»	0,012	0,005
Нагрузка на стандартный штамп площадью 5000 см ²	0,007	0,004
Замачивание котлована по стандартной методике	0,002	0
Замачивание котлована по ускоренной методике	0,003	0,004

В связи с этим особое значение на всех стадиях проектирования и инженерных изысканий имеет изучение опыта строительства на просадочных грунтах в регионе. Выявляются все деформации сооружений на лессовых основаниях, систематизируются и анализируются их причины. Это позволяет оценить эффективность противопросадочных мероприятий и выбрать наиболее оптимальный вариант борьбы с просадочностью для конкретных инженерно-геологических условий.

Изучение лессовых толщ грунтов строительной площадки в таком объеме призвано полностью обеспечить проектирование качественной инженерно-геологической информацией, необходимой для принятия обоснованных проектных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Запорожченко Э. М. Инженерно-геологический опыт проектирования, строительства и эксплуатации первой очереди Большого ставропольского канала. Ставрополь. 1974, 60 с.
2. Олянский Ю. И., Быкодеров М. В. Исследования влияния диаметров задавливаемых грунтоносов на нарушение структуры лессового грунта // Вестник ВолГАСУ. Сер.: 6. Стр-во и архит. 2005. № 4. С. 81—85.
3. Кригер Н. И. Состояние вопроса об оценке просадочных свойств лессовых грунтов: обзор. М.: ПНИИИС, 1972. 61 с.
4. Олянский Ю. И. Лессовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах Республики Молдова). Кишинев: Штиинца, 1992. 130 с.
5. Особенности оценки просадочных свойств лессовых пород при проектировании оснований и фундаментов в Центральной Молдавии / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина и др. // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Сер.: Стр-во и архит. 2016. Т. 7. № 3. С. 46—53.
6. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина и др. Волгоград: ВолГАСУ, 2015. 205 с.
7. Оценка просадочности лессовых оснований полевыми и лабораторными методами / А. Н. Богомолов, Г. М. Скибин, Ю. И. Олянский и др. // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2015. 2015. № 40(59).

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Степанова Е. А., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Цель и задачи инженерно-геологических изысканий для проектирования гидротехнического строительства на просадочных грунтах / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский, Е. А. Степанова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 5—13.

Об авторах:

Олянский Юрий Иванович — д-р геол.-минерал. наук, доцент, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, olyansk@list.ru

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

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

Степанова Екатерина Александровна — старший преподаватель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Yu. I. Olyanskii, E. V. Shchekochikhina, S. A. Kalinovskii, E. A. Stepanova

THE PURPOSE AND TASKS OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL INVESTIGATIONS FOR THE DESIGN OF HYDRAULIC ENGINEERING ON COLLAPSIBLE SOILS

The main types of engineering and geological investigations at various stages of design of hydraulic structures erected on collapsible soils are characterized. By the example of subaerial loess soils in the Northern Black Sea region the recommendations on the assessment of subsidence indicators are given taking into account the peculiarities of hydraulic engineering.

Key words: loess soils, subsidence, after-planting compaction, engineering and geological investigations.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Stepanova E. A. [The purpose and tasks of engineering and geological investigations for the design of hydraulic engineering on collapsible soils]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 5—13.

About authors:

Olyanskii Yuri Ivanovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, olyansk@list.ru

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

Kalinovskii Sergei Andreevich — 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

Stepanova Ekaterina Aleksandrovna — Senior Lecturer of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 624.073

Г. В. Сопегин, Д. Н. Сурсанов, А. Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НАГРУЖЕНИЕМ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ТАУМАЛИТА

Рассмотрена методика и приведены результаты натурных испытаний нагружением стеновых панелей из таумалита, в результате которых были определены фактические значения ширины раскрытия трещин и разрушающих нагрузок. Построены графики зависимости нагрузки от относительных деформаций панелей и перемещений. В результате испытаний выявлена необходимость применения армирующей сетки в угловых зонах оконных проемов для исключения появления трещин.

Ключевые слова: натурные испытания, относительные деформации, разрушающая нагрузка, сдвиг слоев, состояние разрушения, стеновая панель, таумалит, центральное и внецентренное сжатие, ширина раскрытия трещин.

С каждым годом в строительной отрасли повышаются существующие и предъявляются все новые требования к строительным объектам. Это, в свою очередь, приводит к поиску и разработке строительных материалов с улучшенными свойствами, обеспечивающих необходимую несущую способность конструкций и отвечающих требованиям энергоэффективности, тепло- и звукоизоляции жилых и общественных зданий. Кроме того, помимо перечисленных эксплуатационных качеств, строительные материалы должны быть экологически безопасными и доступными с экономической точки зрения.

Одним из таких материалов, который на сегодняшний день только начинает внедряться в строительную индустрию, является таумалит. Таумалит представляет собой быстротвердеющий материал, получаемый на основе гипсового вяжущего и органических наполнителей естественного происхождения, таких, например, как древесные опилки, применяемые совместно с небольшим количеством портландцемента и специальной добавки — адеструктивной пасты. Исследованием таумалита в 1980-х гг. занимался латвийский ученый доктор технических наук Фринц Алкснис, который смог доказать, что таумалит обладает необходимыми химическими и физико-механическими свойствами, делающими этот композит пригодным для использования в жилищном строительстве. Следует также отметить, что по сравнению с материалами на цементных вяжущих при одинаковых пределах прочности на сжатие прочность таумалита на изгиб в 4...6 раз выше [1, 2].

На базе одного из пермских заводов была разработана технология производства стеновых панелей на основе таумалитовой смеси с применением фибролитовых или минераловатных плит, использующихся в качестве утеплителя. С целью определения характера работы таумалитовых конструкций под нагрузкой на производственной базе завода были проведены натурные испытания статической нагрузкой. Именно натурные испытания являются наиболее точным и эффективным способом определить характер работы конструкции под нагрузкой [3—16].

Испытания нагружением стеновых панелей из таумалита проводились с целью комплексной проверки обеспечения технологическими процессами производства показателей их прочности и трещиностойкости.

При проведении испытаний были решены задачи, которые включали в себя: определение фактических значений разрушающих нагрузок по прочности; определение ширины раскрытия трещин и сопоставление опытных значений с контрольными [3].

Для проведения испытаний были изготовлены четыре стеновые панели марки ЗНСН 43.28.36. Панели испытывались на центральное и внецентренное сжатие, а также на сдвиг наружного слоя относительно внутреннего. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

Характеристика изделия, средства испытаний и вспомогательные устройства. Испытываемые панели марки ЗНСН 43.28.36 являются трехслойными наружными несущими стеновыми панелями. Внутренний и наружный слои панелей толщиной 120 мм и 60 мм соответственно, а также соединяющие их ребра выполнены из таумалита марки по плотности D1300 и класса по прочности на сжатие В7,5. Толщина ребер по периметру панелей, по вертикальным граням проема и в широком простенке составляет 60 мм, по горизонтальным граням проема — 40 мм. Ребра армированы каркасами из проволоки по ГОСТ 6727-80. Внутренний и наружный слои таумалитовых панелей дополнительно соединяются стеклокомпозитной арматурой типа АСК6, проходящей через теплоизоляционный слой. В качестве теплоизоляционного слоя в панелях используются минераловатные плиты марки ROCKWOOL толщиной 180 мм. Также в панелях имеется оконный проем размером 1520 × 1695 мм. Изготовление панелей выполнялось в соответствии со стандартом организации СТО 36554501-046-2015. Опалубочный чертеж панели представлен на рис. 1.

Для опирания и нагружения панелей был изготовлен испытательный стенд. Стенд состоял из двух сварных рам, стойки которых выполнены из двух швеллеров № 24. Нагрузки передавались на панель от гидравлических домкратов грузоподъемностью 200 тс через распределительные балки.

Для измерения перемещений использовались индикаторы часового типа ИЧ-10 и ИЧ-50 с ценой деления 0,1 мм [3].

Для измерения ширины раскрытия трещин применялся микроскоп типа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм. Появление трещин при проведении испытаний фиксировалось при помощи фотофиксации.

Методика проведения испытаний. Испытание изделий производилось в вертикальном положении, соответствующем их положению в конструкциях зданий при эксплуатации.

Панели перед испытаниями заводились между стойками силовых рам и устанавливались на железобетонную балку через прокладку из конвейерной ленты, замененную после первого испытания на джут.

Над панелью через прокладку укладывалась железобетонная балка. На эту балку устанавливались стальные балки. По середине балок устанавливались

домкраты. На домкраты укладывалась металлическая балка, на которую устанавливались упоры силовых рам и закреплялись на стойках.

Перед началом испытаний производилось предварительное поддомкрачивание конструкции для устранения зазоров.

При испытаниях изделия нагружались до разрушающих нагрузок. В процессе испытаний регистрировались:

значения нагрузок, при которых появлялись первые трещины в панелях;

ширина раскрытия трещин $a_{\text{кр}}$;

значения нагрузок при разрушении и характер разрушения изделий.

Значения нагрузок в процессе испытаний регистрировались по показаниям приборов.

После приложения каждой ступени испытываемое изделие выдерживалось под нагрузкой не менее 10 мин.

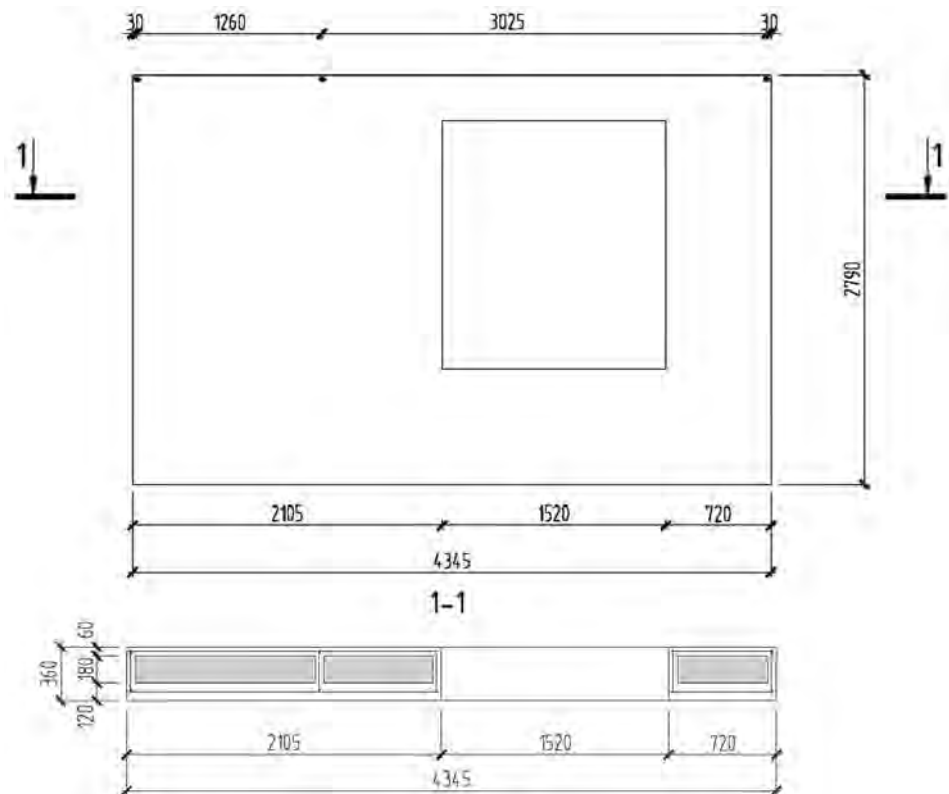


Рис. 1. Опалубочный чертеж таумалитовой панели

Во время выдержки под нагрузкой производился осмотр поверхностей изделия и фиксирование величины нагрузки, появившихся трещин, ширины раскрытия трещин, результатов измерения вертикальных деформаций.

Схемы расстановки индикаторов часового типа и приложения нагрузки были различными и приведены для каждого испытания в табл. 1 и на рис. 2—4. Нагрузки прикладывались из расчета 1/10 от ожидаемой разрушающей нагрузки на простенки (с учетом пониженной прочности таумалита панели).

Т а б л и ц а 1

Порядок приложения нагрузки

Испытания	Этапы	Шаг нагрузки, тс/МПа		Схема расстановки индикаторов часового типа
		Узкий простенок	Широкий простенок	
Испытание № 1 (внецентренное сжатие)	1, 2	11,4 / 1,32	33,2 / 1,31	рис. 2, а
	3—6	5,7 / 0,66	16,6 / 0,66	
Испытание № 2 (внецентренное сжатие)	1—12	2,0 / 0,23	5,5 / 0,22	рис. 2, а
Испытание № 3 (сдвиг слоев)	1—9	4,0 / 0,46	6,3 / 0,25	рис. 2, б
Испытание № 4 (сдвиг слоев)	1—7	—	3,2 / 0,13	рис. 2, в

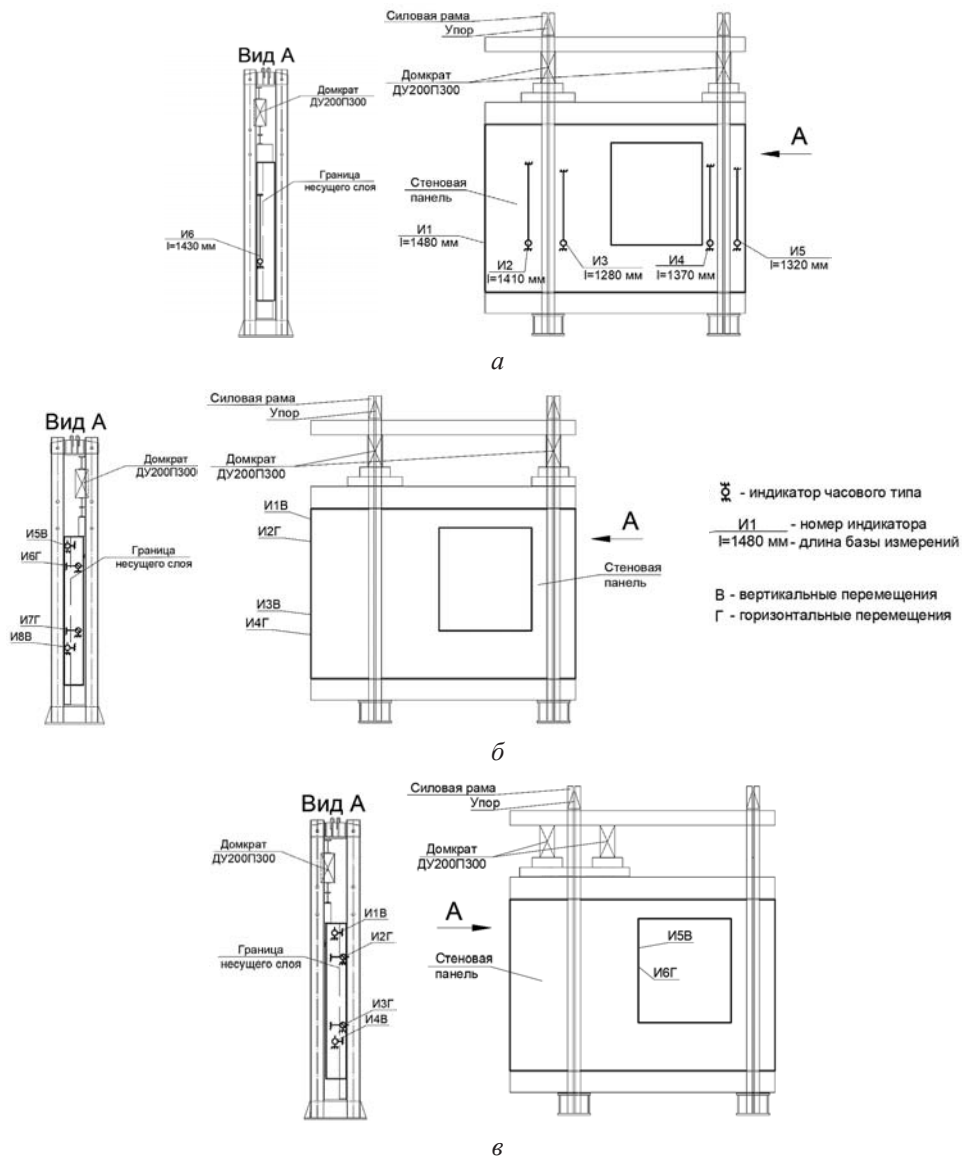


Рис. 2. Схема расположения индикаторов часового типа: а — испытания № 1 и № 2 на внецентренное сжатие; б — испытание № 3 на сдвиг слоев; в — испытание № 4 на сдвиг слоев

Результаты испытаний. В ходе проведения всех испытаний стеновая панель была доведена до разрушения. Результаты проведенных испытаний таумалитовых панелей представлены в табл. 2. Схемы расположения трещин показаны на рис. 3.

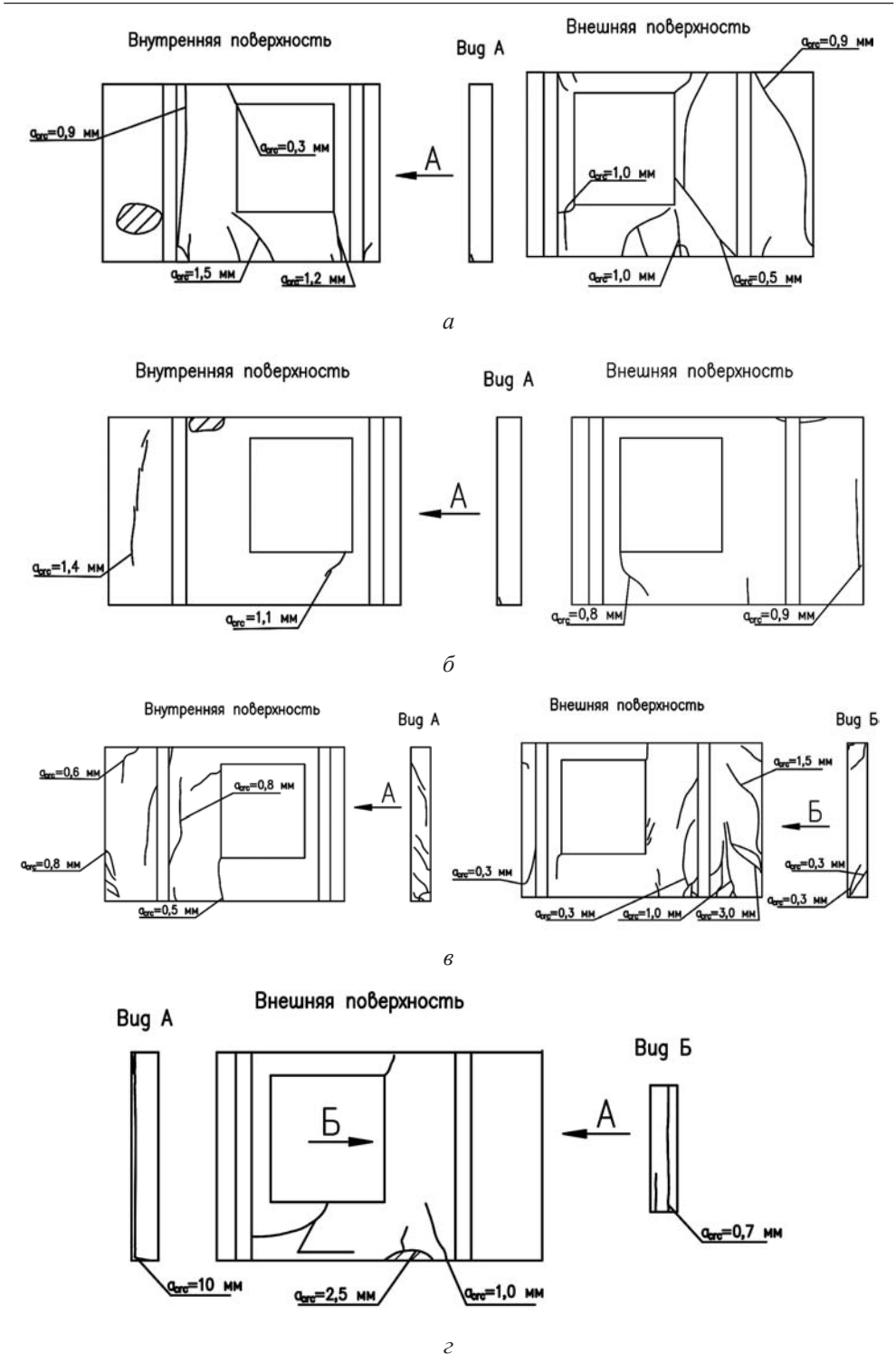
Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний таумалитовых панелей

Испытание	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Нагрузка на узкий простенок, МПа / ширина раскрытия первых трещин, мм	1,32 / 0,5	1,62 / 0,1	1,39 / 0,5	—
Нагрузка на широкий простенок, МПа / ширина раскрытия первых трещин, мм	1,31 / 0,5	1,52 / 0,1	0,75 / 0,5	0,54 / 0,6
Нагрузка на узкий простенок, МПа / максимальная ширина раскрытия трещин, мм	4,62 / 1,5	2,55 / 1,4	3,70 / 3,00	—
Нагрузка на широкий простенок, МПа / максимальная ширина раскрытия трещин, мм	4,6 / 1,5	2,61 / 1,4	2,00 / 3,00	0,81 / 10,00
Схема расположения зафиксированных трещин	рис. 3, а	рис. 3, б	рис. 3, в	рис. 3, г
Графики развития относительных деформаций	рис. 4	рис. 5	—	—
Графики развития горизонтальных и вертикальных перемещений	—	—	рис. 6, 7	рис. 8, 9

Графики развития относительных деформаций в зависимости от нагрузок, передаваемых на панель при проведении испытаний № 1 и № 2, отражены на рис. 4, 5.

Графики развития вертикальных и горизонтальных перемещений слоев панели относительно друг друга в зависимости от нагрузки, передаваемой на панель при проведении испытаний № 3 и № 4, представлены на рис. 6—9.



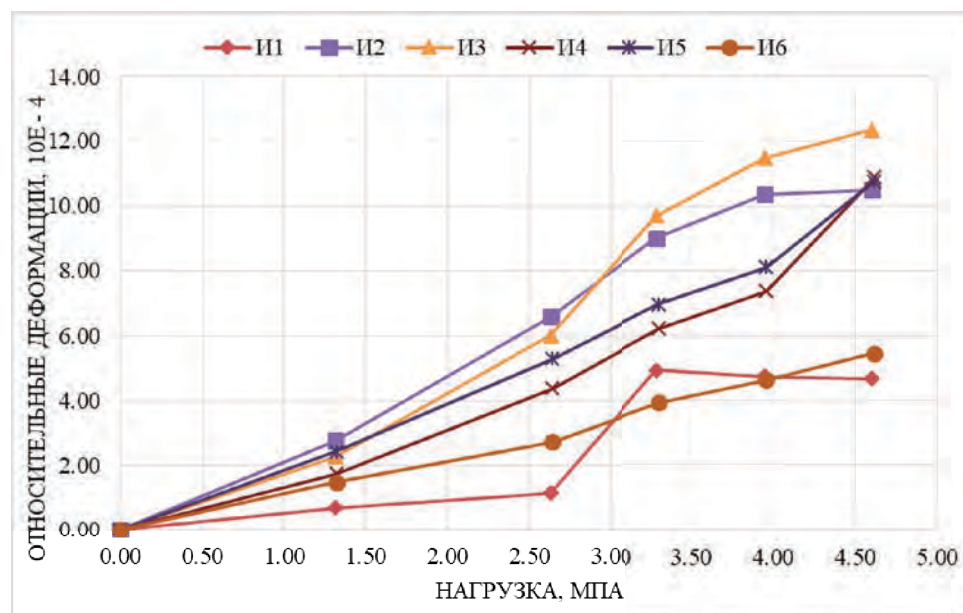


Рис. 4. График развития относительных деформаций при испытании № 1 (на внецентренное сжатие) в зависимости от нагрузки, передаваемой на широкий и узкий простенки панели: И1, И2, И3 — показания индикаторов часового типа для широкого простенка; И4, И5, И6 — показания индикаторов часового типа для узкого простенка

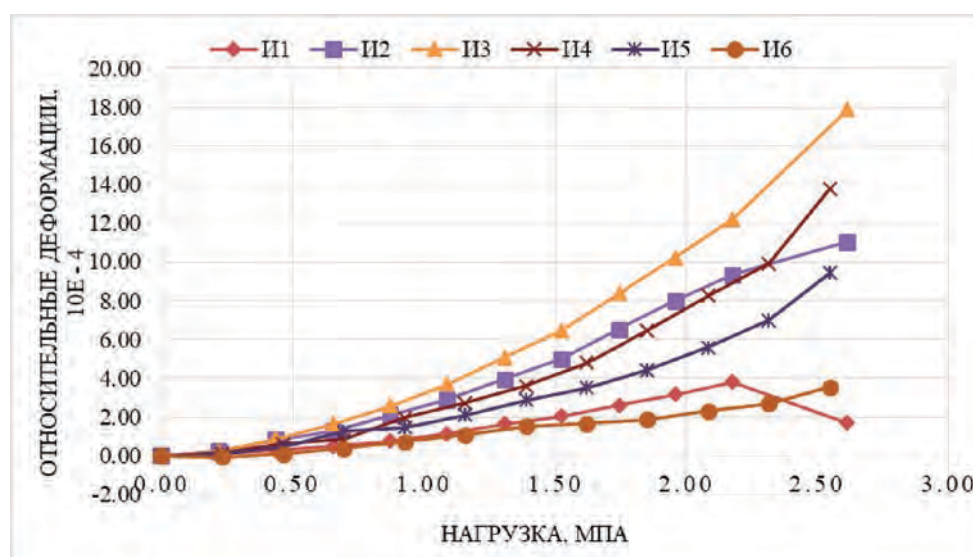


Рис. 5. График развития относительных деформаций при испытании № 2 в зависимости от нагрузки, передаваемой на широкий и узкий простенки панели: И1, И2, И3 — показания индикаторов часового типа для широкого простенка; И4, И5, И6 — показания индикаторов часового типа для узкого простенка

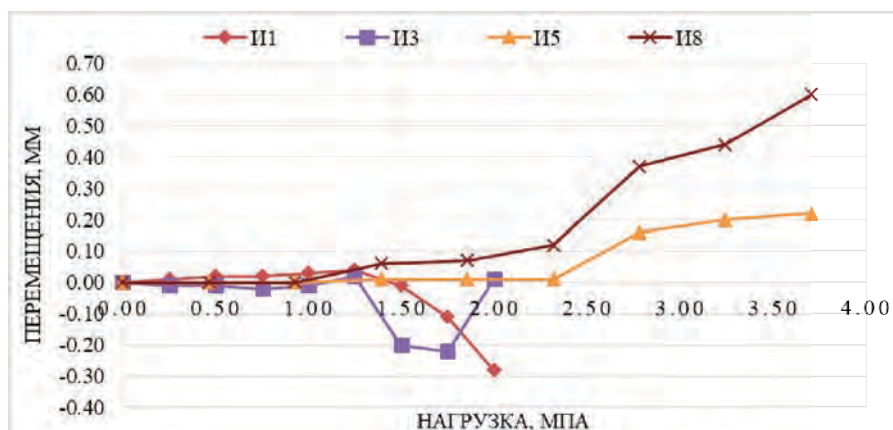


Рис. 6. График развития вертикальных перемещений при испытании № 3 в зависимости от нагрузки, передаваемой на широкий и узкий простенки панели: И1, И3 — показания индикаторов часового типа для широкого простенка; И5, И8 — показания индикаторов часового типа для узкого простенка

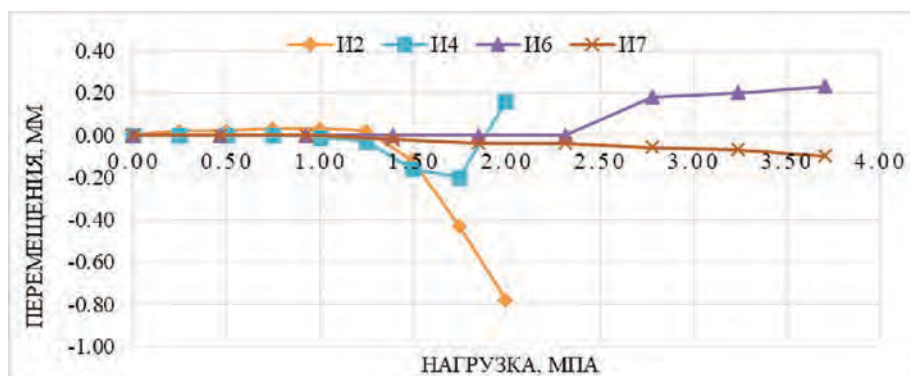


Рис. 7. График развития горизонтальных перемещений при испытании № 3 в зависимости от нагрузки, передаваемой на широкий и узкий простенки панели: И2, И4 — показания индикаторов часового типа для широкого простенка; И6, И7 — показания индикаторов часового типа для узкого простенка

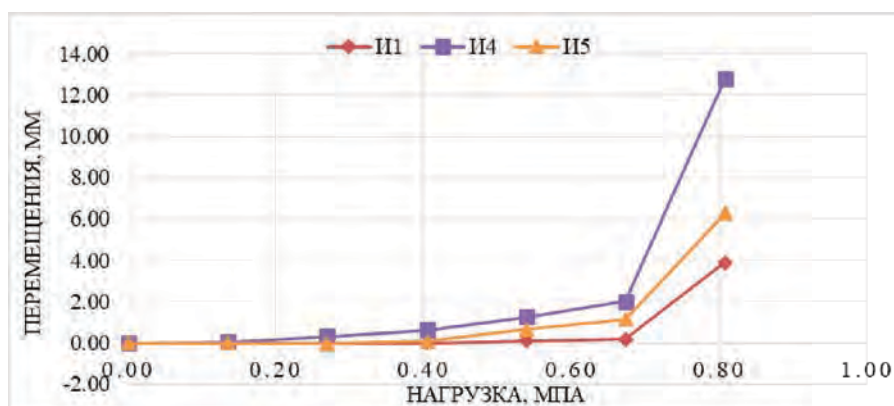


Рис. 8. График развития вертикальных перемещений в зависимости от нагрузки при испытании № 4

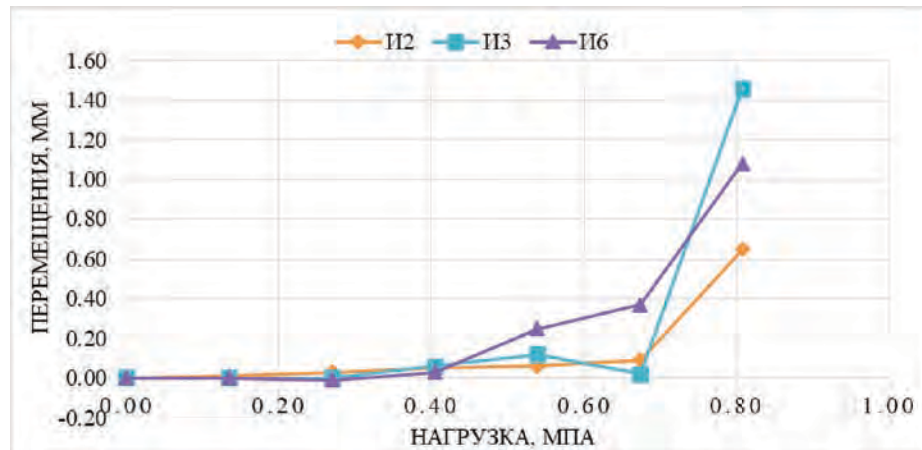


Рис. 9. График развития горизонтальных перемещений в зависимости от нагрузки при испытании № 4

Оценка прочности стеновой панели. Разрушающие нагрузки, переданные на панель после проведения всех испытаний, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Разрушающие нагрузки, переданные на панель

Номер испытания	Максимальная нагрузка, переданная на узкий простенок, МПа	Максимальная нагрузка, переданная на широкий простенок, МПа
1	5,07	5,16
2	3,70	3,03
3	6,37	2,18
4	—	0,81

Во всех испытаниях разрушение панели сопровождалось значительным раскрытием трещин, возникновением сколов, расслоением панели и падением давления в гидравлической системе. Согласно п. 5.1.1 и 5.1.2 ГОСТ 27751-2014, характер разрушений соответствует первой группе предельных состояний, превышение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций.

При нагрузке 2,31 МПа вертикальное взаимное смещение слоев в трехслойной стеновой панели составляет, по данным испытаний, для узкого простенка 0,12 мм (см. рис. 6). При этом величина податливости ребер при срезе для узкого простенка равняется $0,6 \cdot 10^{-6}$ см/кгс (см. пособие к СНиП 2.03.01-84). Следует отметить, что податливость при срезе железобетонной плиты при двух смежных непосредственно соприкасающихся стенах в случае сдвига стен по вертикали составляет $0,5 \cdot 10^{-5}$ см/кгс¹. Таким образом, податливость соединительных ребер при сдвиге слоев, конструкция которых использована в трехслойных таумалитовых панелях, почти в 10 раз меньше, чем податливость при

¹ Пособие по расчету крупнопанельных зданий. Вып. 1. Характеристики жесткости стен, элементов и соединений крупнопанельных зданий. М.: Стройиздат, 1974. 41 с.

срезе (сдвиге) плит перекрытий в типовых проектах крупнопанельных зданий, т. е. жесткость при сдвиге ребер в панелях выше, чем у железобетонных плит в панельных зданиях.

Оценка трещиностойкости стеновой панели. Согласно табл. 2, во всех испытаниях ширина раскрытия первых трещин не превышала 0,6 мм. Нагрузка, при которой образовались первые трещины, составляла не более 1,62 МПа на узкий простенок и 1,52 МПа на широкий простенок.

Характер разрушений панели при проведении всех испытаний согласно п. 5.1.1 и 5.1.3 ГОСТ 27751-2014 соответствует второй группе предельных состояний, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация строительных конструкций, уменьшается их долговечность или нарушаются условия комфортности.

Как видно из рис. 3, трещины с шириной раскрытия 0,3...1,5 мм появляются в угловой зоне оконного проема панели. Данный участок является наиболее слабым при разрушении конструкции [17], поэтому для исключения появления таких трещин рекомендуется установка в угловой зоне стеновой панели армирующей сетки под углом 45° к горизонтали. Сетка будет способствовать перехвату усилия, возникающего в угловой зоне проема при обжатии простенков.

Выводы. В результате анализа натурных испытаний нагружением таумалитовых стеновых панелей можно сделать следующие выводы:

1. Прочностные характеристики стеновых панелей из таумалита на внецентренное и центральное сжатие составляют 0,81...5,16 МПа при нагрузке на широкий простенок и 3,70...6,37 МПа на узкий простенок. При этом наблюдалось разрушение стеновой панели, которое ведет к потере несущей способности конструкций. Также было показано, что жесткость при сдвиге ребер в данных стеновых панелях выше, чем у железобетонных плит в панельных зданиях.

2. Максимальная ширина раскрытия трещин при испытаниях на внецентренное (центральное) сжатие составила 1,5 мм при нагрузке 4,60 МПа для широкого простенка и 4,62 МПа для узкого простенка. При испытаниях на сдвиг слоев относительно друг друга максимальная ширина раскрытия трещин составила 10,0 мм при нагрузке 0,81 МПа. Полученные результаты говорят о необходимости снижения усилия, возникающего в угловой зоне оконного проема стеновой панели, путем применения армирующей сетки под углом 45° к горизонтали.

3. Для соединения наружного и внутреннего слоев стеновой панели в проекте предусмотрено применение связей в виде вертикальных и горизонтальных таумалитовых ребер толщиной 60 мм и 40 мм соответственно. Принятая система связей наружного и внутреннего таумалитовых слоев в трехслойной стеновой панели обладает более высокой прочностью и жесткостью при сдвиге по сравнению с типовыми решениями трехслойных панелей с использованием гибких металлических связей и шпоночных соединений [3, 10, 12, 13, 18—20].

4. Стеновые трехслойные таумалитовые панели могут быть использованы в зданиях каркасного типа в качестве ненесущих ограждающих наружных конструкций без ограничения этажности или в качестве несущих стеновых панелей в зданиях, этажность которых должна определяться прочностью несущего внутреннего слоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баталин Б. С. Новый материал для строительства жилья // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 24—26.
2. Современные несущие конструкции зданий из быстротвердеющего композита (таумалита) на основе гипсоцементного вяжущего / А. В. Грановский, Б. К. Джамуев, А. В. Лысков, М. В. Попов // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. С. 101—105.
3. Мордич А. И., Галкин С. Л. Результаты испытания сборно-монолитного перекрытия каркасного здания вертикальной нагрузкой // Строительная наука и техника. 2011. № 3(36). URL: <https://www.bsc.by/story/rezultaty-ispytaniya-sborno-monolitnogo-perekrytiya-karkasnogo-zdaniya-vertikalnoy-nagruzkoy>
4. Соколов Б. С., Лизунова Н. С. Экспериментально-теоретическая методика оценки сдвиговой податливости штепсельных стыков железобетонных колонн // Известия КГАСУ. 2014. № 1(27). С. 119—124.
5. Экспериментальное исследование работы поликарбонатных модульных систем / И. В. Карасев, И. Ю. Майстренко, А. Н. Куклин, В. Г. Хозин, А. Р. Гиздатуллин // Известия КГАСУ. 2016. № 3(37). С. 135—142.
6. Nguyen T. T., Tan K. H., Burgess I. W. Behaviour of composite slab-beam systems at elevated temperatures: Experimental and numerical investigation // Engineering Structures. 2015. No. 82. Pp. 199—213.
7. FEM analysis of the strength of RC beam-to-column dowel connections under monotonic actions / G. Magliulo, M. Ercolino, M. Cimmino, V. Capozzi, G. Manfredi // Construction and Building Materials. 2014. No. 69. Pp. 271—284.
8. Experimental investigation into a ductile FRP stay-in-place formwork system for concrete slabs / X. Gai, A. Darby, T. Ibell, M. Evernden // Construction and Building Materials. 2013. No. 49. Pp. 1013—1023.
9. Сопегин Г. В., Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б. Анализ результатов натурных испытаний стеновых панелей на осевое сжатие // Вестник ПНИПУ. Сер.: Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 4(24). С. 114—127.
10. Варламов А. А., Никитина О. В. Анализ экспериментальных данных исследования работы сборно-монолитного перекрытия с новым вариантом шпоночного стыка // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Стр-во и архит. 2015. Т. 15. № 3. С. 20—25.
11. Экспериментальные исследования сборно-монолитного ригеля каркасной системы ООО «Центр МКС» / А. А. Винтина, А. И. Лазарев, В. М. Поздеев, А. В. Средин // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. 2014. № 2. С. 231—235.
12. Сурсанов Д. Н., Сазонова С. А., Пономарев А. Б. Анализ результатов натурных испытаний шпоночного соединения на срез // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Сер.: Стр-во и архит. 2015. № 2. С. 7—23.
13. Натурные испытания многопустотной плиты с фибролитовыми пустотообразователями / Д. Н. Сурсанов, С. А. Сазонова, А. Б. Пономарев, А. В. Лыков // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 27—32.
14. Испытание натурального фрагмента сборно-монолитного каркаса системы АРКОС с плоскими перекрытиями / А. А. Карякин, С. А. Сонин, П. В. Попп, М. В. Алилуев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Стр-во и архит. 2009. № 35(168). С. 16—20.
15. A study on bond mechanism of carbon fiber sheet non metallic (FRP) reinforcement for concrete structures / T. Maeda, Y. Asano, Y. Sato, T. Ueda, Y. Kakuta // Proceedings of third International Symposium. 1997. Vol. 1. Oct. Pp. 279—287.
16. Gamino A. L., Bittencourt T. N. Reinforced concrete beams strengthened with CFRP: experimental analytical and numerical approaches. FRPRCS-8, University of Patras. Patras, Greece, 2007.
17. Данель В. В. Трехслойные наружные стеновые панели с повышенной несущей способностью // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 48—52.
18. Aliawdin P., Simbirkin V. Behaviour of reinforced concrete elements under restrained flexure // Problemy budownictwa / Red. naukowa R. Świtka. Zielona Góra: Uniwersytet Zielonogórski, 2003. Pp. 97—110.
19. Simbirkin V. Analysis of reinforced concrete loadbearing systems of multistorey buildings // Modern Building Materials, Structures and Techniques: CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference, Vilnius, May 19—21, 2004. P. 6.

20. Monitoring of complex design systems of special structures / Ye. Gorokhov, Ya. Nazim, V. Vasylev, S. Kuznetsov, V. Garkusheva // The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC-2008. Selected papers, Vilnius, Lithuania, June 26—29, 2008. Vilnius: Technika. 2008. Pp. 306—311.

© Сопегин Г. В., Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Сопегин Г. В., Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б. Анализ результатов натурных испытаний нагружением стеновых панелей из таумалита // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 14—25.

Об авторах:

Сопегин Георгий Владимирович — магистрант кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, sp.georg@yahoo.com

Сурсанов Дмитрий Николаевич — старший преподаватель кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, sursanov@mail.ru

Пonomarev Андрей Будимирович — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, spstf@pstu.ru

G. V. Sopegin, D. N. Sursanov, A. B. Ponomarev

THE ANALYSIS OF THE RESULTS OF FIELD TESTS BY LOADING OF TAUMALIT WALL PANELS

The article describes the methods and results of field tests by loading of taumalit wall panels. Field testing has provided the following results: actual values of widths of cracks and ultimate loads. Diagrams of dependences between load and panel relative deformations and displacements are submitted. The test results have revealed the necessity to apply reinforcing mesh in corner areas of window holes to eliminate cracks.

Key words: field tests, relative deformation, ultimate load, displacement of layers, condition of destruction, wall panel, taumalit, central and eccentric compression, crack width.

For citation:

Sopegin G. V., Sursanov D. N., Ponomarev A. B. [The analysis of the results of field tests by loading of taumalit wall panels]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 14—25.

About authors:

Sopegin Georgii Vladimirovich — Master's Degree student of Construction Engineering and Material Science Department, Perm National Research Polytechnic University. 29, Komsomolskii Prospect, Perm', 614990, Russian Federation, sp.georg@yahoo.com

Sursanov Dmitrii Nikolaevich — Senior Lecturer of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnic University. 29, Komsomolskii Prospect, Perm', 614990, Russian Federation, sursanov@mail.ru

Ponomarev Andrei Budimirovich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnic University. 29, Komsomolskii Prospect, Perm', 614990, Russian Federation, spstf@pstu.ru

УДК 624.131

С. Л. Туманов, С. А. Калиновский, Ю. М. Фетисов, А. Р. Рисунов

Волгоградский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ПРИОТКОСНОЙ ЗОНЫ ГРУНТОВОЙ ВЫРАБОТКИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ**

Изложены результаты исследования влияния величины коэффициента бокового давления грунта на распределение напряжений в приоткосной зоне грунтовой выработки. Установлено, что величина коэффициента бокового давления оказывает значительное влияние на значения горизонтальных и касательных напряжений в различных точках грунтового массива.

Ключевые слова: коэффициент бокового давления, коэффициент запаса устойчивости, вертикальные, горизонтальные и касательные напряжения в грунтовом массиве.

При определении напряжений в приоткосных зонах грунтовых выработок приемлема линейная теория ползучести. Из решения задачи теории упругости для весомой полуплоскости со свободной от нагрузки границей [1] следует, что напряжения прямо пропорциональны объемной массе пород γ и глубине выработки или высоте откоса h . Кроме того, они являются линейными функциями коэффициента бокового давления ξ_0 и могут быть вычислены по формулам [2]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \gamma h(4\sigma'_x(1 - \xi_0) + \sigma_{x1}(4\xi_0 + 3)), \\ \sigma_y &= \gamma h(4\sigma'_y(1 - \xi_0) + \sigma_{y1}(4\xi_0 + 3)), \\ \tau_{xy} &= \gamma h(4\tau'_{xy}(1 - \xi_0) + \tau_{xy1}(4\xi_0 + 3)),\end{aligned}\tag{1}$$

где σ'_x , σ'_y , τ'_{xy} — безразмерные напряжения в любой точке рассматриваемой области при $\xi_0 = 0,75$; σ_{x1} , σ_{y1} , τ_{xy1} — при $\xi_0 = 1$.

В табл. 1—3 приводятся значения безразмерных вертикальных σ_x , горизонтальных σ_y и касательных τ_{xy} напряжений в различных точках приоткосной зоны, а также напряжения в контурных точках грунтовой выработки для значений коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5; 0,75; 1,0$. В свою очередь, величина коэффициента бокового давления была предметом изучения многих авторов, исследования которых приведены и систематизированы в ряде источников [3—5].

Напряжения вычисляются с использованием программ, разработанных в Институте архитектуры и строительства ВолгГТУ [6, 7].

Знак минус соответствует сжимающим напряжениям, плюс — растягивающим. При вычислении напряжений в конкретных случаях безразмерные напряжения умножаются на γh .

На рис. 1 изображена схема откоса выработки с обозначением точек, в которых были определены напряжения. Угол заложения откоса выработки $\beta = 35^\circ$.

Формулы для определения напряжений в приоткосной зоне дают возможность проанализировать зависимость напряжений от коэффициента бокового давления и на основе этого определить коэффициенты устойчивости K откосов грунтовых выработок по методике [6].

Если пренебречь изменением объемной массы с течением времени при постоянной глубине h , напряжения могут изменяться только за счет изменения коэффициента бокового давления ξ_0 .

Если однородный грунтовый массив считать средой, к которой применима линейная теория ползучести, напряжения вокруг открытой выработки, возникающие от действия сил собственного веса пород, остаются постоянными, определяемыми из решения одноименной задачи теории упругости. Очевидно, что перемещения при этом изменяются с течением времени, результаты этих исследований изложены в работе [8]. В работе [9] приводятся результаты расчетов величин коэффициентов устойчивости откосов, нагруженных весом экскаваторов, в зависимости от напряженного состояния приоткосной зоны и коэффициентов бокового давления грунта $0,1 \leq \xi_0 \leq 1,0$.

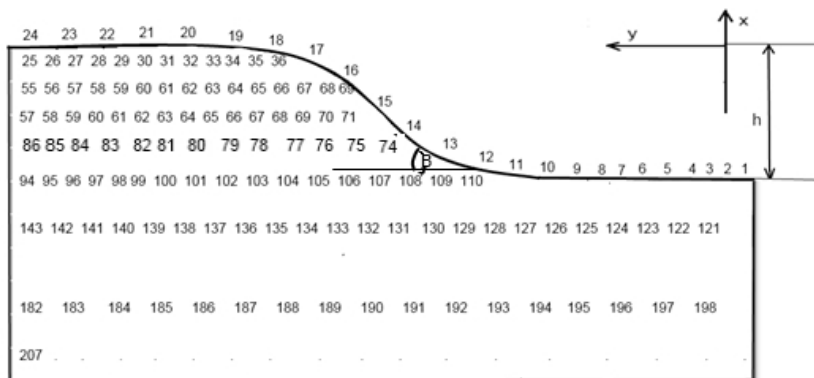


Рис. 1. Расчетная схема откоса для $\beta = 35^\circ$

В нашем случае формулы (1) и табл. 1—3 для безразмерных напряжений позволяют установить влияние коэффициентов бокового давления на распределение напряжений в приоткосной зоне открытой грунтовой выработки.

Проанализируем влияние коэффициента бокового давления на общую картину распределения напряжений в грунтовом массиве. Это представляет большой интерес, так как во многих работах при расчете устойчивости откосов и склонов учитывается только вертикальная составляющая напряжений.

Анализ упругого решения показывает значительное влияние на качественную и количественную картину распределения горизонтальных σ_y и касательных τ_{xy} напряжений.

Эпюры всех напряжений построены в одинаковом масштабе, который совпадает с масштабом, используемым при построении рассматриваемой выработки. То есть единица длины на рисунке соответствует 0,2 единицы безразмерных напряжений и $0,2h$.

Такой выбор масштаба дает наглядную картину влияния открытой выработки на распределение напряжений в грунтовом массиве.

Рассмотрим вертикальные напряжения. Значения вертикальных напряжений в различных точках приоткосной зоны, а также в контурных точках выработки для значений коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5; 0,75; 1,0$ приведены в табл. 1.

Как известно, эти напряжения часто принимают равными весу столба вышележащих пород на единицу площади. В области, непосредственно примыкающей к контуру выработки, это далеко не так. При значениях коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5; 0,75; 1,0$ значения вертикальных напряжений приблизительно одинаковы, т. е. в приконтурной области значения вертикальных напряжений практически не зависят от коэффициента бокового давления, а вдали от выработки вертикальные напряжения увеличиваются, стремясь к единице. Зона влияния от $2h$ до $2,3h$. Постоянная разница составляет около 0,6 %.

Т а б л и ц а 1

*Значения вертикальных напряжений в различных точках приоткосной зоны
и в контурных точках выработки*

Номер точки	σ_x			
	$\xi_0 = 0,1$	$\xi_0 = 0,5$	$\xi_0 = 0,75$	$\xi_0 = 1,0$
74	-0,0561	-0,1323	-0,1799	-0,2275
75	-0,3304	-0,3411	-0,3478	-0,5680
76	0,3808	-0,4864	-0,4812	-0,4760
77	-0,60944	-0,5968	-0,5889	-0,5810
78	0,53464	-0,6837	-0,6760	-0,6683
79	-0,76438	-0,7535	-0,7467	-0,7399
80	0,6384	-0,8094	-0,8037	-0,7980
81	-0,86182	-0,8543	-0,8496	-0,8449
82	0,70584	-0,8899	-0,8861	-0,8823
83	-0,92296	-0,918	-0,9149	-0,9118
84	0,74776	-0,9399	-0,9373	-0,9347
85	-0,96022	-0,9567	-0,9545	-0,9523
86	0,77248	-0,9692	-0,9674	-0,9656
87	-0,98098	-0,9786	-0,9770	-0,9754
88	0,78608	-0,9854	-0,9840	-0,9826
89	-0,99212	-0,9902	-0,9896	-0,9878
90	0,7932	-0,9937	-0,9926	-0,9915
91	-0,9977	-0,9961	-0,9951	-0,9941

Эпюры безразмерных вертикальных напряжений представлены на рис. 2.

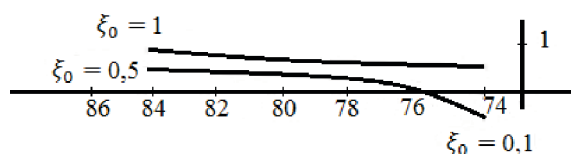


Рис. 2. Эпюры безразмерных вертикальных напряжений

Рассмотрим горизонтальные напряжения. При значениях коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5$ в горизонтальном направлении имеется обширная зона растяжения. Эта зона быстро уменьшается с увеличением h , причем зона влияния уменьшается от $0,75h$ до 0.

При значении коэффициента бокового давления, большем 0,5, наблюдаются только горизонтальные сжимающие усилия, т. е. влияние ξ_0 на распределение горизонтальных напряжений в приоткосной зоне еще больше увеличивается.

Значения горизонтальных напряжений приведены в табл. 2 для различных точек приоткосной зоны, а также в контурных точках выработки для значений коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5; 0,75; 1,0$. На рис. 3 представлен график с построением эпюр горизонтальных напряжений.

При значениях $0,5 \leq \xi_0 \leq 1,0$ горизонтальные напряжения имеют минимальное значение на контуре выработки, а зона влияния изменяется от $2,25h$ до $3h$.

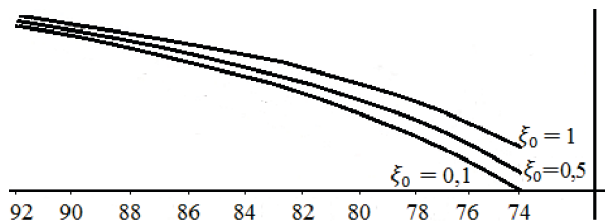


Рис. 3. Эпюры безразмерных горизонтальных напряжений

Таким образом, при значениях коэффициента бокового давления, близких к единице, в приоткосной зоне имеют место только сжимающие усилия. Поэтому при достаточно больших значениях глубины выработки h следует ожидать такие явления, как раздавливание породы в местах наибольшей концентрации напряжений, отжим ее в выработку и появление пластических деформаций.

С уменьшением ξ_0 в подошве выработки появляется зона, растянутая в горизонтальном направлении.

Так как породы в большинстве случаев слабо сопротивляются растяжению, при достаточно больших значениях напряжений в подошве следует ожидать появления продольных трещин.

Из вышесказанного следует, что коэффициент бокового давления оказывает наибольшее влияние на горизонтальные напряжения. На касательные это влияние уменьшается, а вертикальные напряжения, за исключением приконтурной зоны на участке концентрации напряжений, практически от ξ_0 не зависят. В работе [10] также демонстрируется значительное изменение полей горизонтальных напряжений в зависимости от величины коэффициента бокового давления грунта.

Указанное обстоятельство, очевидно, объясняется тем, что горизонтальные напряжения в ненагруженном массиве, в отличие от вертикальных и касательных, зависят от ξ_0 , и эта зависимость, естественно, не может исчезнуть после образования выработки.

Таблица 2

*Значения горизонтальных напряжений в различных точках приоткосной зоны
и в контурных точках выработки*

Номер точки	σ_y			
	$\xi_0 = 0,1$	$\xi_0 = 0,5$	$\xi_0 = 0,75$	$\xi_0 = 1,0$
74	0,57089	0,04930	-0,2767	-0,60269
75	0,33668	-0,06539	-0,3167	-0,56798
76	0,24103	-0,12920	-0,3609	-0,59199
77	0,18051	-0,17819	-0,4024	-0,62657
78	0,60634	-0,04250	-0,4399	-0,85355
79	0,10480	-0,25119	-0,4737	-0,69618
80	0,07735	-0,28040	-0,5040	-0,72759
81	0,05396	-0,30619	-0,5313	-0,75638
82	0,03361	-0,32910	-0,5558	-0,78249
83	0,01578	-0,34950	-0,5778	-0,8061
84	0,00033	-0,36749	-0,5974	-0,82727
85	-0,01362	-0,38369	-0,6150	-0,84628
86	-0,02522	-0,39770	-0,6305	-0,8633
87	-0,03616	-0,41040	-0,6443	-0,8782
88	-0,04513	-0,42130	-0,6554	-0,89151
89	-0,05781	-0,43270	-0,6670	-0,90131
90	-0,06036	-0,43940	-0,6763	-0,9132
91	-0,06602	-0,27670	-0,6843	-0,54005

Проанализируем распределение касательных напряжений, которые появляются в результате образования в грунтовом массиве открытой выработки в приоткосной зоне. Наибольших значений, как видно из эпюры, они достигают на некотором уровне удаления от контура, затем уменьшаются, стремясь к нулю. При значениях коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5; 0,75; 1,0$ касательные напряжения изменяются одинаково. Максимальные значения достигаются от 0 до $0,75h$. При значениях коэффициента бокового давления $\xi_0 = 1; 5; 10$ максимальное значение соответствует контурной точке 74, а уменьшение касательных напряжений происходит более резко. Если считать $\tau_{xy} \leq 0,01$ то для $0,1 \leq \xi_0 \leq 1,0$ зона влияния равна нулю, а для $5 \leq \xi_0 \leq 10$ ее протяженность составляет $2,5h \dots 3,65h$.

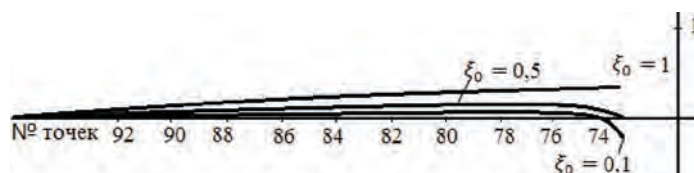


Рис. 4. Эпюры безразмерных касательных напряжений

В приоткосной зоне касательные напряжения достигают максимального значения, а вдали от грунтовой выработки стремятся к нулю. Влияние коэффициента бокового давления на касательные напряжения на глубине h более значительно, чем больше коэффициент бокового давления, тем больше касательные напряжения.

В табл. 3 приведены значения касательных напряжений в различных точках приоткосной зоны, а также в контурных точках выработки для значений коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,1; 0,5; 0,75$.

Таблица 3

*Значения касательных напряжений в различных точках приоткосной зоны
и в контурных точках выработки*

Номер точки	τ_{xy}			
	$\xi_0 = 0,1$	$\xi_0 = 0,5$	$\xi_0 = 0,75$	$\xi_0 = 1,0$
74	0,0977	-0,0450	-0,1342	-0,2234
75	-0,0093	-0,0995	-0,1559	-0,2123
76	0,15888	-0,1132	-0,1559	-0,1986
77	-0,0585	-0,1132	-0,1474	-0,1016
78	-0,0444	-0,1069	-0,1350	-0,1631
79	-0,036	-0,0976	-0,1209	-0,1442
80	-0,0288	-0,0847	-0,1053	-0,1259
81	-0,0225	-0,0754	-0,0920	-0,1086
82	-0,0174	-0,0643	-0,0785	-0,0927
83	-0,0346	-0,0540	-0,0561	-0,0768
84	0,05232	-0,0444	-0,0549	-0,0654
85	-0,02144	-0,036	-0,0451	-0,0542
86	0,03568	-0,0288	-0,0367	-0,0446
87	-0,0113	-0,0225	-0,0295	-0,0365
88	0,02384	-0,0174	-0,0236	-0,0298
89	-0,00476	-0,0134	-0,0188	-0,0242
90	0,01576	-0,0099	-0,0148	-0,0197
91	-0,00026	-0,0073	-0,0117	-0,0161

Распределение горизонтальных и касательных напряжений оказывает существенное влияние на величину коэффициента устойчивости откоса. Вместе с тем коэффициент бокового давления не учитывается в действующих нормах при расчете устойчивости откосов. Один из вариантов учета коэффициента бокового давления грунта в зависимости от коэффициента бокового давления предлагается в работе [10].

Исходя из проведенного исследования, можно сделать следующий вывод: распределение горизонтальных и касательных напряжений в грунтовом откосе зависит от величины коэффициента бокового давления грунта, таким образом,

коэффициент бокового давления оказывает существенное влияние на распределение напряжений в приоткосных зонах и должен учитываться при расчете устойчивости откосов и расчетах коэффициента устойчивости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: АН СССР, 1954. 647 с.
2. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград: Нижне-Волжск. кн. изд-во, 1979. 238 с.
3. К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов / А. Н. Богомолов и др. // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Естественные науки. 2007. Вып. 6(23). С. 110—114.
4. Анализ методов определения коэффициента бокового давления грунта (экспериментальные методы) / А. Н. Богомолов и др. // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы III международ. науч.-техн. конф. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. С. 33—57.
5. Анализ методов определения коэффициента бокового давления грунта (аналитические методы) / А. Н. Богомолов и др. // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы III международ. науч.-техн. конф. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. С. 58—85.
6. Определение оптимальных конструкций бортов карьеров и отвалов: промежуточный отчет № 710-86. Волгоград: Волгоград. инж.-строит. ин-т, 1988. 17 с.
7. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) / А. Н. Богомолов и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
8. Заключительный отчет: № гос. регистрации 01870026915. Волгоград: Волгоград. инж.-строит. ин-т, 1988. 60 с.
9. Цветков В. К., Туманов С. Л. Влияние коэффициента бокового распора на устойчивость уступов, нагруженных горным оборудованием // Изв. вузов. Горный журнал. 1986. № 11. С. 27—29.
10. Влияние коэффициента бокового давления грунта на степень устойчивости однородного откоса / О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. Ю. Калашников, С. А. Калиновский, А. В. Проккопенко, А. А. Иванов // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 39—49.

© Туманов С. Л., Калиновский С. А., Фетисов Ю. М., Рисунов А. Р., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование напряженного состояния приоткосной зоны грунтовой выработки в зависимости от коэффициента бокового давления / С. Л. Туманов, С. А. Калиновский, Ю. М. Фетисов, А. Р. Рисунов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 26—33.

Об авторах:

Туманов Сергей Леонидович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, tumserlen@yandex.ru

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

Фетисов Юрий Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, fetisow.yurij@yandex.ru

Рисунов Андрей Романович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, andreysunov@mail.ru

S. L. Tumanov, S. A. Kalinovskii, Yu. M. Fetisov, A. R. Risunov

**STUDY OF THE STRESS STATE OF NEAR-SLOPE ZONE OF SOIL DEVELOPMENT
DEPENDING ON THE COEFFICIENT OF LATERAL PRESSURE**

The paper presents the results of the research of influence of the coefficient of earth pressure on stress distribution in near-slope zone of soil development. It is established that the value of the coefficient of lateral pressure has a significant influence on the values of horizontal and shearing stress at various points in the soil mass.

Key words: coefficient of lateral pressure, stability factor, vertical, horizontal and shearing stress in the soil mass.

For citation:

Tumanov S. L., Kalinovskii S. A., Fetisov Yu. M., Risunov A. R. [Study of the stress state of near-slope zone of soil development depending on the coefficient of lateral pressure]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2018, iss. 51(70), pp. 23—33.

About authors:

Tumanov Sergei Leonidovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, tumserlen@yandex.ru

Kalinovskii Sergei Andreevich — 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

Fetisov Yurii Mikhailovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, fetisow.yurij@yandex.ru

Risunov Andrei Romanovich — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, andreyrisunov@mail.ru

УДК 620.197.7: 547.7.785.5

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

Волгоградский государственный технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ДОБАВОК НИТРОПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Изучено влияние строения нитропроизводных бензимидазола на коррозионное и электрохимическое поведение хромистых сталей. Показана эффективность применения нитробензимидазолов в качестве ингибиторов коррозии стали.

К л ю ч е в ы е с л о в а: нитропроизводные бензимидазола, коррозия, пассивирование, ингибирование, поляризационные характеристики.

Введение. Применение ингибиторов является одним из наиболее эффективных, универсальных и экономически целесообразных методов борьбы с коррозией металлов. Безвозвратные потери металлов от коррозии составляют 15 % от ежегодного выпуска. Кроме того, во многих случаях косвенные убытки от коррозии могут значительно превышать прямые потери за счет растворения металла. Ингибиторы, введенные в агрессивную среду в очень малых количествах (в тысячных и даже миллионных долях от ее массы или объема), способны уменьшить скорость коррозии в десятки и сотни раз. Использование соответствующих ингибиторов и ингибированных материалов позволяет подавлять коррозию любых материалов и их комбинаций практически в любых средах: в воздушной атмосфере и атмосфере агрессивных газов, в пресной и морской воде, охлаждающих жидкостях, гетерогенных системах типа «углеводороды — вода», моторных маслах, а также в условиях воздействия кислот, оснований, сильных окислителей в сочетании с механическими воздействиями и радиоактивным излучением.

Применение ингибиторов стабилизирует ход производственного процесса, сокращает простои, связанные с ремонтом и заменой оборудования; позволяет использовать дешевые конструкционные материалы. Ингибиторы способствуют сохранению прочностных характеристик металла, а иногда даже повышают их по сравнению с исходным состоянием, улучшают теплопередачу и гидродинамические условия потока, повышают защитные свойства полимерных, лакокрасочных и металлических покрытий, увеличивают срок службы и улучшают электрические характеристики контактов [1—3].

В основе действия на коррозию металлов подавляющего количества органических и неорганических веществ лежит классический механизм замедления электрохимических реакций, обуславливающих протекания электрохимической коррозии. При изыскании летучих универсальных ингибиторов И. Л. Розенфельдом был предложен и реализован принцип, основанный на том, что в органическое вещество вводится нитрогруппа, сопряженная с ароматическим ядром [4]. Введение в ароматическое ядро различных электроноакцепторных групп приводит к значительному увеличению окислительно-восстановительного потенциала нитрогруппы, что позволяет создать эф-

фективные плотности тока на катодных участках корродирующего металла, которые обеспечивают смещение стационарного потенциала коррозии в область пассивного состояния металла и таким образом способствуют защите металла от коррозии.

В то же время удлинение цепи сопряженных электронов в молекуле ароматического соединения приводит к увеличению поверхностной активности вещества, способствующей понижению свободной энергии поверхности защищаемого металла. Следствием этого является понижение эффективных плотностей катодного тока, необходимых для смещения коррозионного потенциала в область полной пассивации металла. С учетом этого принципа И. Л. Розенфельдом был создан новый тип ингибиторов универсального действия в нейтральных коррозионных средах.

В кислых средах на сталях этот эффект не изучался. Узким местом в создании ингибиторов, действие которых основано на активации катодного процесса, является то, что в случае, когда катодная деполяризующая активность препарата не достаточна для того, чтобы запассивировать металл, такие препараты становятся сильными активаторами коррозии металла. Это определило цель исследования — изучение влияния строения ароматических соединений гетероциклического ряда, содержащих нитрогруппу, на коррозионно-электрохимическое поведение сталей в кислых средах, что позволит выявить структурные элементы молекулы органического вещества, ответственные за пассивирующий эффект, и определить дальнейшие направления синтеза органических соединений, содержащих нитрогруппу, с целью создания новых ингибиторов коррозии металлов и теоретического развития принципа создания ингибиторов коррозии, основанного на активации катодного процесса.

Применение ароматических нитросоединений для защиты железа и его сплавов от коррозии. Применяемые ранее для защиты железа и его сплавов от коррозии ингибиторы и пассиваторы действуют по классическому механизму замедления кинетики электрохимических реакций. При изыскании летучих универсальных ингибиторов И. Л. Розенфельдом предложен и реализован прямо противоположный принцип [4].

Анализ потенциостатической кривой указывает на наличие широкой области потенциалов, где металлы могут находиться в пассивном состоянии. Обычный путь приведения металла в это состояние заключается в том, чтобы изыскать соединения, уменьшающие скорость анодной реакции. Этого можно достигнуть посредством ускорения катодной реакции. Увеличение эффективности катодного процесса путем введения в среду неорганических окислителей хоть и приводит к смещению потенциала в положительную сторону, однако не настолько, чтобы вывести металл из активного состояния. Обычные неорганические окислители (O_2 , Na_2CrO_4 , $NaNO_2$) не восстанавливаются из нейтральных электролитов со сколько-нибудь заметной скоростью: предельные токи восстановления этих анионов обычно не превышают нескольких десятков или сотен mA/cm^2 [5]. Поэтому за счет токов их восстановления нельзя сместить потенциал металла до такого значения, при котором начинает формироваться пленка, способная запассивировать металл. Однако, как показывают исследования, можно добиться исключительно высоких скоростей

восстановления этих анионов, например NO_2^- , если ввести их в состав органических соединений. Нитрит-ионы из-за наличия отрицательного заряда и возникновения гидроксильных пленок восстанавливаются в нейтральных электролитах с меньшей скоростью, чем кислород, и поэтому не могут быть ответственными за образование и сохранение пассивного окисла.

Если ввести группу NO_2^- , например, в бензольное кольцо, где она уже становится нейтральной, то скорость восстановления резко увеличивается. Еще большей скорости восстановления можно добиться, если ввести в бензольное кольцо какой-либо электрофильный заместитель, который уменьшает электронную плотность на азоте. В качестве электрофильных заместителей И. Л. Розенфельд выбрал карбоксильную группу и вторую нитрогруппу, преследуя при этом двоякую цель — увеличение эффективного катодного процесса и введение в состав ингибитора бензоатной группы, которая обладает защитными свойствами по отношению к цветным металлам. При восстановлении таких соединений можно получить плотности тока, достигающие значения $10 \dots 20 \text{ мА/см}^2$. Однако в некоторых случаях и этих токов может не хватить для пассивирования металла. Поэтому необходимым условием для применения подобных соединений является не только высокая скорость восстановления, но и адсорбция органических катионов и анионов ингибитора и покрытие им значительной части поверхности. В этих условиях облегчается достижение на непокрытых участках поверхности критических плотностей тока, которые необходимы для пассивации.

Как видно, здесь реализуется принципиально новый путь создания ингибиторов, основанный не на традиционном принципе торможения электрохимических реакций, а на принципе повышения эффективности катодного процесса, приводящем к смещению потенциала к значениям, при которых становится возможным формирование пассивирующего окисла.

В достоверности подобного механизма можно убедиться при рассмотрении результатов потенциостатических исследований анодного процесса. Если ввести в боратный буфер $0,01 \text{ моль/л}$ пиперидина, то пассивируемость системы резко возрастает. При этом область пассивного состояния расширяется значительно, а токи пассивации уменьшаются. Такая же концентрация бензоата пиперидина эффекта не дает. Однако если ввести $0,01 \text{ моль/л}$ нитробензоата пиперидина или 3,5-динитробензоата пиперидина, то начальный потенциал системы смещается далеко за потенциал полной пассивации металла в боратном буфере. Все это указывает на возможность формирования на железе пассивирующего окисла в присутствии этих соединений. Но так как в присутствии нитробензоатов на электроде должен протекать эффективный катодный процесс, то обычные потенциостатические кривые в токовых координатах не могут дать достаточно полную информацию об анодных процессах. В связи с этим для данного класса соединений изучалась зависимость скорости растворения от потенциала по изменению массы. Если, однако, оценить истинную скорость анодного процесса растворения при одинаковых значениях потенциала, то становится ясным, что нитробензоаты аминов не вмешиваются в анодный процесс (анодные кривые в ингибированном и неингибированном электролитах совпадают). Отсюда следует, что наблюдаемое смещение потенциала за по-

тенциал полной пассивации является следствием увеличения эффективности катодного процесса.

С учетом этого принципа Розенфельдом был создан новый класс ингибиторов универсального действия, отличающихся высокими защитными свойствами и успешно применяющихся в различных отраслях промышленности.

Влияние добавок нитропроизводных бензимидазола на коррозионно-электрохимическое поведение хромистой стали в соляной кислоте. Нами изучено влияния строения нитропроизводных бензимидазола на коррозионное и электрохимическое поведение хромистых сталей в 0,1 и 0,2 моль/л соляной кислоты. Объектом исследования была 14%-я хромистая сталь, закаленная при 1100 °С и охлажденная в воде. Анодные и катодные поляризационные кривые снимали на потенциостате П-5827 со скоростью смещения потенциала 1,4 В/ч (рис. 1—3).

Изучено влияние на анодное растворение и коррозионный потенциал 14%-й хромистой стали производных бензимидазола, способных пассивировать поверхность стали. С этой целью были синтезированы 5-нитробензимидазол, азотнокислая соль 5-нитробензимидазола, 5,6-динитробензимидазола, 5,6-динитробензимидазол, азотнокислая соль 5,6-динитробензимидазола, 1-метил-5-нитробензимидазол и 1-метил-5,6-динитробензимидазол [5].

Основанием для выбора этого класса нитропроизводных был ряд экспериментальных данных.

1. УФ-спектры 5-нитробензимидазола, снятые в этиловом спирте, характеризуются наличием двух максимумов поглощения ультрафиолетового света: интенсивного максимума в области 230 нм и широкого, не имеющего тонкой колебательной структуры максимума в области 304...306 нм. Для выяснения природы полос поглощения, а также для оценки характера электронного строения 5-нитробензимидазола в возбужденном состоянии, в котором он находится в двойном электрическом слое, УФ-спектры были сняты также в 0,1 моль/л раствора соляной кислоты. В то время как коротковолновый максимум при переходе от спирта к соляной кислоте смещается незначительно, длинноволновой максимум претерпевает гипсохромный сдвиг на 20 нм, при этом длинноволновая полоса значительно уменьшает интегральную интенсивность. Следовательно, коротковолновый максимум поглощения связан с локальным возбуждением делокализационных π -электронов бензольного кольца бензимидазола на вакантный энергетический уровень, не сопровождающийся значительным изменением длины дипольного момента. Напротив, длинноволновый максимум поглощения связан с миграцией несвязанных неподеленных электронов «пирольного» атома азота бензимидазола через π -электронную систему бензольного кольца бензимидазола на вакантный энергетический уровень нитрогруппы. Такие $n \rightarrow \pi$ переходы, связанные с переносом заряда, сопровождаются значительным изменением длины дипольного момента. Подобные вещества характеризуются большой поляризуемостью в двойном электрическом слое, что, в свою очередь, должно увеличивать вклад диполь-дипольного взаимодействия в адсорбционное взаимодействие 5-нитробензимидазола с поверхностью стали Х-14.

Однако гипсохромный сдвиг длинноволновой полосы, давший основание отнести эту полосу к $n \rightarrow \pi$ переходу, в спиртовой среде одновременно дает информацию о том, что в 1 моль/л раствора соляной кислоты 5-нитробенимидазол

существует в протонированной по «пиридиновому» атому азота, что в этих условиях в возбужденном состоянии реализуется в двойном электрическом слое длинноволновый переход, который можно отнести либо к переносу π -электронов бензольного кольца бензимидазола на вакантный энергетический уровень нитрогруппы, либо это возбуждение, локализованное в имидазольном кольце и поляризованное в направлении связи $C = N$. Если справедливо первое отнесение, то в двойном электрическом слое 5-нитробензимидазол должен обладать поляризуемостью меньшей, чем в нейтральных средах, и гораздо большей, чем в случае локального возбуждения в имидазольном цикле, так как в последнем случае на молекулу действуют два противоположно направленных дипольных момента. В случае миграции π -электронов бензольного кольца на вакантный энергетический уровень нитрогруппы вклад диполь-дипольного взаимодействия 5-нитробензимидазола в механизм адсорбции на поверхности стали X-14 гораздо больший, чем в случае локального возбуждения в имидазольном кольце. Напротив, окислительно-восстановительный потенциал системы должен быть больше во втором случае, так как противоположно действующий дипольный момент, направленный на связь $C = N$, увеличивает эффективный положительный заряд на углеродном атоме бензольного кольца бензимидазола, связанном с атомом азота нитрогруппы.

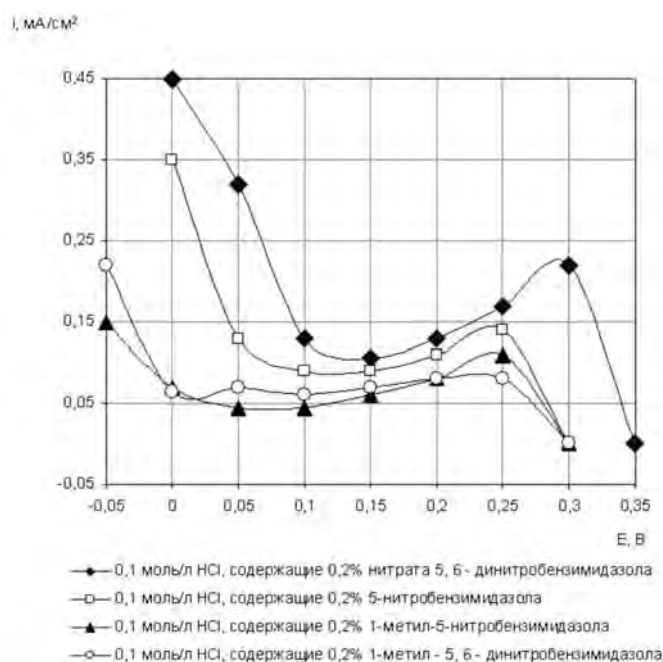
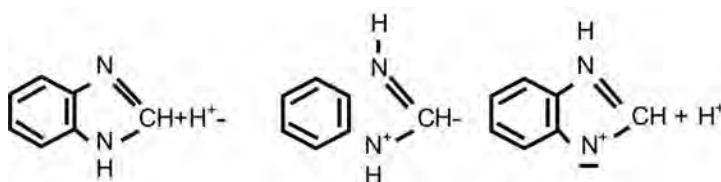


Рис. 1. Анодные поляризационные кривые 14%-й хромистой стали в соляной кислоте

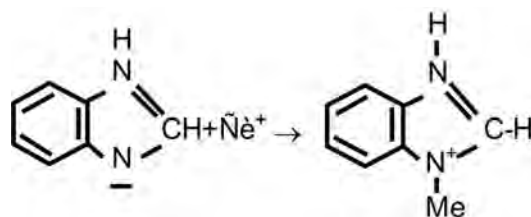
2. Введение второй нитрогруппы в молекулу, содержащую бензольное кольцо, приводит к увеличению окислительно-восстановительного потенциала органической молекулы, увеличению длины цепи сопряженных π -электронов и, следовательно, поверхностной активности органического вещества. Бензимидазол представляет редкий случай соединений, в которых нитрогруппа ориен-

тирует вхождение второй нитрогруппы в бензольное кольцо в орто-положение. Это объясняется специфической «двоесвязанностью» положений 5 и 6 бензимидазола — явления, которое на протяжении многих лет изучалось Л. С. Эфосом и А. В. Ельцовым [6]. Представлялось интересным посмотреть, как эти особенности в реакционной способности бензимидазола скажутся на коррозионно-электрохимическом поведении 5,6-динитробензимидазола по сравнению с динитропроизводными ароматических соединений (см. рис. 1), изученных Л. И. Розенфельдом на сталях в нейтральных средах и Брынзой на титане и его сплавах в кислых средах [7].

3. Бензимидазол содержит «кислый» водород, связанный с «пирольным» атомом азота, способным замещаться на металл. В кислых средах возможно следующее равновесие:



Положение этого равновесия должно зависеть от концентрации протонов в растворе. С увеличением концентрации протонов равновесие должно смещаться в сторону недиссоциированной формы. Диссоциированная форма, взаимодействуя с ионами металла, на первой стадии должна активировать ионизацию металла и, следовательно, является анодным деполяризатором:



По мере накопления продукта взаимодействия бензимидазола с ионами металла реакция достигает равновесия. Если продукт достаточно трудно растворим в среде, происходит осаждение его на поверхности электрода, реакция затормаживается. Следствием этого является пассивация поверхности металла. Если продукт взаимодействия хорошо растворим в коррозионной среде, заметный вклад в ингибирование реакции анодного растворения металла может внести недиссоциированная форма. Недиссоциированная форма, адсорбируясь на электроде, способна вступать в межмолекулярное взаимодействие, образуя при этом межмолекулярные водородные связи. В результате происходит понижение «ажурности» барьерной пленки и увеличение ее защитных свойств. Для выяснения этих вопросов были синтезированы 1-метилзамещенные 5-нитро- и 5,6-динитробензимидазолов.

Особенно резко влияние N-метилирования сказывается в 0,2 моль/л раствора соляной кислоты. В отличие от 0,1 моль/л раствора соляной кислоты в 0,2 моль/л раствора анодная поляризационная кривая стали X-14 характеризуется двумя максимумами тока при потенциалах $E = -0,36$ В и $-0,15$ В и двумя минимумами

тока при потенциалах $-0,22$ В и $-0,05$ В, в то время как 5-нитробензимидазол-нитрат и его N-метильное производное мало отличаются по влиянию на поляризационные характеристики при потенциале $-0,3$ В, в области потенциала $-0,1$ В 5-нитробензимидазол является более эффективным препаратом.

4. Нитрат-ион проявляет окислительные свойства. С целью изучения окислительной способности нитрат-иона, входящего в состав нитробензимидазолов, были синтезированы азотнокислые соли нитробензимидазолов и сняты их некоторые электрохимические характеристики.

В результате проведенного исследования было установлено, что 5-нитробензимидазол, 5-нитробензимидазолнитрат, 5,6-динитробензимидазол, 5,6-динитробензимидазолнитрат, 1-метил-5-нитробензимидазол и 1-метил-5,6-динитробензимидазол в концентрации $0,2...0,5$ % облагораживают коррозионный потенциал на $180...200$ мВ, причем различия в строении незначительно влияют на коррозионный потенциал. Заметно большие различия имеют место во влиянии на потенциал питингообразования $E_{оп}$. В то время как 5-нитробензимидазолнитрат и его N-метильное производное смещают потенциал питингообразования в анодную область на 150 мВ, 5,6-динитробензимидазолнитрат смещает его на 70 мВ, а его N-метильное производное — на 200 мВ в положительную область. N-метильное производное 5-нитробензимидазола по сравнению с 5-нитробензимидазолнитратом увеличивает поляризуемость транспассивного электрода (рис. 2).

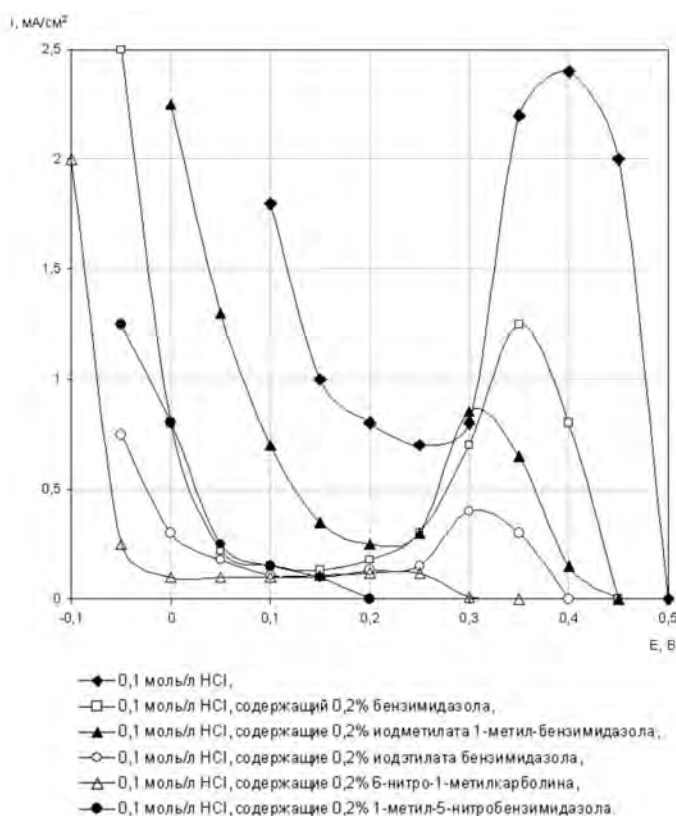
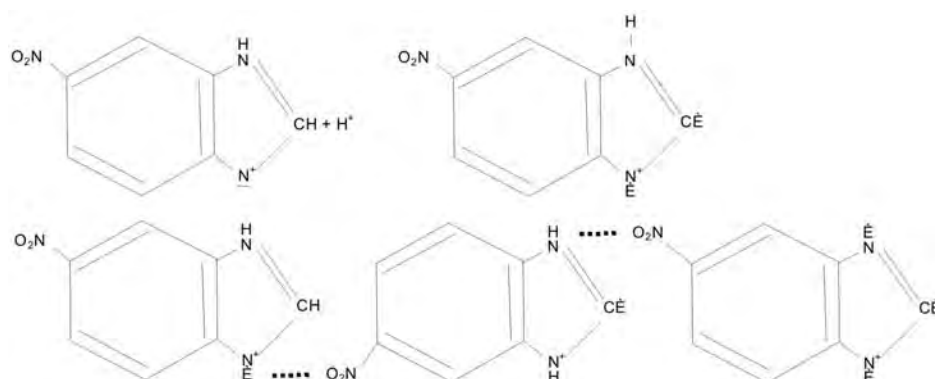


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые бензимидазолов в соляной кислоте

При растворении 5-нитробензимидазола в кислоте устанавливается равновесие:



С увеличением концентрации протонов равновесие смещается в сторону недиссоциированной формы. Недиссоциированная форма способна на электроде образовывать межмолекулярные водородные связи и, следовательно, увеличивать защитные свойства адсорбированного вещества.

Сдвиг коррозионного потенциала стали X-14 под действием 5-нитро-5,6-динитробензимидазолов и их производных в переходную область потенциалов объясняется протеканием двух процессов адсорбции ингибитора металлом и восстановлением нитрогруппы. Восстановление нитрогруппы следует из анализа катодной поляризационной кривой, на которой вблизи стационарного потенциала коррозии имеется максимум тока, отсутствующий на катодной кривой в фоновом электролите (рис. 3). Адсорбция катионов нитробензоимидазола изменяет активную поверхность металла и способствует его пассивации токами, возникающими на катоде от восстановления нитрогруппы (табл.).

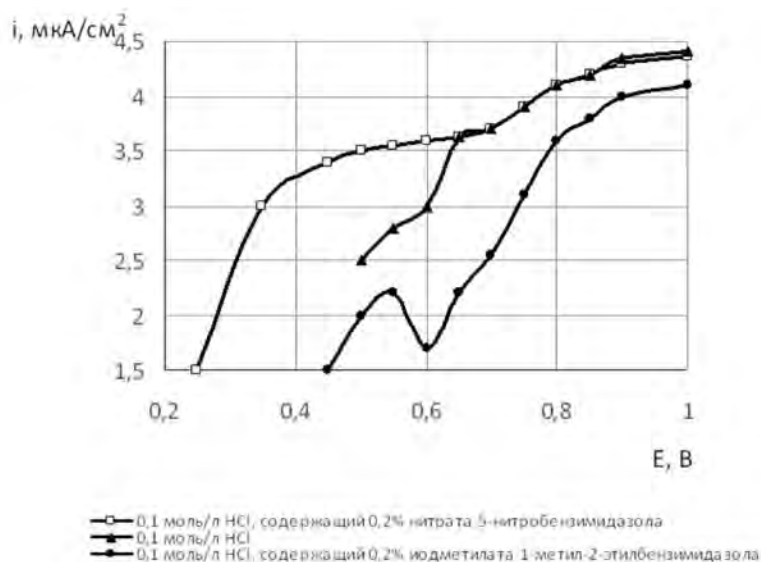


Рис. 3. Катодные поляризационные кривые 14%-й хромистой стали в соляной кислоте

*Влияние нитро-бензимидазолов на коррозионный потенциал
и анодные характеристики стали X-14 в соляной кислоте*

Соединение	C, %	$E_{кор}$, В	$E_{по}$, В
5-нитробензимидазол-основание	0,1	–0,49	–0,2
	0,2	–0,32	–0,05
5-нитро-бензимидазолнитрат	0,2	–0,31	–0,05
	0,3	–0,32	–0,05
	0,5	–0,33	–0,05
5,6-динитробензимидазолнитрат	0,2	–0,33	–0,13
1-метил-5,6-динитробензимидазол	0,2	–0,30	0
1-метил-5-нитробензимидазол	0,2	–0,31	– 0,05
0,2 н HCl			
5-нитро-бензимидазолнитрат	0,2	–0,35	– 0,05
1-метил-5-нитробензимидазол	0,2	–0,38	–0,27

Примечание: все потенциалы приведены относительно хлорсеребряного электрода сравнения.

Выводы:

1. Исследовано влияние нитробензимидазолов на коррозионно-электрохимическое поведение 14%-й хромистой стали в соляной кислоте. Показано, что стационарный потенциал коррозии стали X-14 в 0,1 и 0,2 моль/л растворах соляной кислоты облагораживается на 180...200 мВ в присутствии нитробензимидазолов.

2. Показано, что исследованные нитропроизводные бензимидазолов смещают потенциал питтингообразования в зависимости от строения на 70...200 мВ в положительную область.

3. Установлено, что N-метилирование существенно влияет на защитные свойства нитробензимидазолов. Обсуждены причины влияния строения производных бензимидазола на электрохимическое поведение 14%-й хромистой стали в соляной кислоте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антропов Л. И., Макушин Е. М., Панасенко В. Ф. Ингибиторы коррозии стали. Киев, 1981. 181 с.
2. Решетников С. М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. Л.: Химия. 1986. 144 с.
3. Способ защиты стали от кислотной коррозии: пат. 2115766 Рос. Федерация: МПК 6С23F11/04А / Попов Ю. В., Корчагина Т. К., Чичерина Г. В., Ускач Я. П. № 97108902/02; заявл. 28.05.1997; опубл. 20.07.1998. URL: <http://ru-patent.info/21/15-19/2115766.html>
4. Розенфельд И. Л. Ингибиторы коррозии. М.: Химия, 1977. 120 с.
5. Исследование влияния органических и неорганических ингибиторов коррозии на коррозионное растрескивание высокопрочных сталей / Т. М. Ракова, А. А. Козлова, Н. И. Нефедов, А. Б. Лаптев // Труды Всерос. науч.-исслед. института авиационных материалов. 2017. № 6(54). С. 102—110.
6. Ельцов А. В. Исследования в ряду имидазолов: автореф. дис... д-ра хим. наук. Л., 1967.
7. Брынза А. П., Ковтун В. Н. О коррозии и пассивации титана в смесях соляной и серной кислот // Журнал прикладной химии. 1968. № 1. С. 2700—2703.

© Фомичев В. Т., Савченко А. В., Губаревич Г. П., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Фомичев В. Т., Савченко А. В., Губаревич Г. П. Применение добавок нитропроизводных бензимидазола для защиты стальных конструкций от коррозии // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 34—43.

Об авторах:

Фомичев Валерий Тарасович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, valerifomichev@yandex.ru

Савченко Алексей Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, savtchenko2@mail.ru

Губаревич Галина Павловна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ggubarevich@mail.ru

V. T. Fomichev, A. V. Savchenko, G. P. Gubarevich

USE OF BENZIMIDAZOLE NITRATED DERIVATIVE ADDITIVES FOR CORROSION PROTECTION OF STEEL STRUCTURES

The influence of the structure of benzimidazole nitrated derivatives on corrosion and electrochemical behavior of chrome steel is studied. The efficiency of use of nitrated benzimidazole as steel corrosion preventers is shown.

Key words: benzimidazole nitrated derivatives, corrosion, passivation, inhibition, polarization characteristics.

For citation:

Fomichev V. T., Savchenko A. V., Gubarevich G. P. [Use of benzimidazole nitrated derivative additives for corrosion protection of steel structures]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 34—43.

About authors:

Fomichev Valerii Tarasovich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of General and Inorganic Chemistry Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, valerifomichev@yandex.ru

Savchenko Aleksei Vladimirovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of General and Inorganic Chemistry Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, savtchenko2@mail.ru

Gubarevich Galina Pavlovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of General and Inorganic Chemistry Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ggubarevich@mail.ru

УДК 624.139.26

С. П. Холодов, О. М. Преснов, В. В. Серватинский

Сибирский федеральный университет

ВЫБОР РАЗМЕРОВ УШИРЕНИЯ ДЛЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С УШИРЕННОЙ ПЯТОЙ

Рассмотрены буронабивные сваи с уширенной пятой, представляющие собой эффективную свайную конструкцию, работающую на выдергивание. Такой тип работы широко применяется для коротких свай в условиях большой глубины промерзания. Технология буронабивных свай ТИСЭ предполагает изготовление в нижней части сваи уширения в виде полусферы. Эффективность (удельная несущая способность) использования такого уширения будет непостоянна: с ростом радиуса полусферы R она вначале растет, а затем снижается. Дана методика определения радиуса $R_{\text{опт}}$, обеспечивающего наибольшую удельную несущую способность конструкции.

Ключевые слова: свайные фундаменты, большая глубина промерзания, малые нагрузки, буронабивные сваи с уширением, оптимальные размеры уширения.

В специальной литературе [1—3] и нормативно-технических документах¹ отмечается, что буронабивные сваи с уширенной пятой — эффективная свайная конструкция, работающая на выдергивание. Такой тип работы широко применяется для коротких свай в условиях большой глубины промерзания df , т. е. в условиях Сибири и большей части европейской территории России.

Технология свай ТИСЭ, согласно ведомственным строительным нормам² и работам [4, 5], предполагает изготовление в нижней части сваи уширения в виде полусферы (с помощью специального ножа-плуга).

Так как объем (а следовательно, и стоимость) цилиндрической части сваи растет пропорционально квадрату радиуса скважины, а объем уширения — пропорционально кубу радиуса полусферы R , эффективность (удельная несущая способность на выдергивание, несущая способность, отнесенная к объему сваи, кН/м^3) использования такого уширения будет непостоянна. При больших значениях R она вначале будет расти, достигая максимума, а затем снижаться. Таким образом, актуальным становится вопрос выбора радиуса R полусферической части сваи, который обеспечит наибольшую удельную несущую способность конструкции.

Определим $R_{\text{опт}}$ (в приведенном ранее значении) в зависимости от других параметров сваи.

Объем цилиндрической части сваи $V_{\text{ц}}$:

$$V_{\text{ц}} = \pi r^2 l,$$

где r — радиус скважины; l — длина сваи.

Объем полусферической части сваи $V_{\text{п}}$ определится следующим образом:

$$V_{\text{п}} = (4\pi R^3 / 3) / 2 = 2\pi R^3 / 3.$$

¹ СП 131.13330.2012. Строительная климатология. М.: Минрегион России, 2012.

² ВСН 5-71. Временные указания по устройству коротких буронабивных бетонных и бутобетонных свай для малоэтажных сельских зданий. М.: Минсельстрой СССР, 1971.

Учитывая, что объем центральной части уширения в пределах радиуса r и высотой $h \approx R$ входит в объем цилиндрической части сваи $V_{\text{ц}}$, его нужно вычесть из $V_{\text{п}}$.

Тогда:

$$V_{\text{п}} = 2\pi R^3 / 3 - \pi r^2 R.$$

Небольшая погрешность, возникающая за счет замены h на R , не превышает 3 % и на точность дальнейших расчетов существенно не влияет.

Таким образом, объем сваи с уширением $V_{\text{уш}}$ равен:

$$V_{\text{уш}} = V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} = \pi r^2 l + 2\pi R^3 / 3 - \pi r^2 R.$$

Определим объем сваи без уширения $V_{\text{с}}$:

$$V_{\text{с}} = V_{\text{ц}} = \pi r^2 l.$$

Так как нас интересует, насколько увеличивается объем сваи вследствие уширения, введем показатель m :

$$m = V_{\text{уш}} / V_{\text{с}} = (V_{\text{ц}} + V_{\text{п}}) / V_{\text{ц}} = (\pi r^2 l + 2\pi R^3 / 3 - \pi r^2 R) / \pi r^2 l = \\ = 1 + (2R^3 / 3) / r^2 l - R / l.$$

При росте R несущая способность сваи на выдергивание (в дальнейшем несущая способность сваи) также растет.

Несущая способность сваи без уширения $Fd_{\text{с}}$ по формуле (7.14), приведенной в СП 24.13330.2011³, будет равна:

$$Fd_{\text{с}} = \gamma_c 2\pi \gamma_c f f l,$$

где f — расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности ствола сваи, кПа, ввиду малой длины сваи может быть принято постоянным.

Для сваи с уширением несущая способность $Fd_{\text{уш}}$ определится следующим образом:

$$Fd_{\text{уш}} = \gamma_c 2\pi R \gamma_c f f l.$$

Введем показатель K , равный отношению несущих способностей:

$$K = Fd_{\text{уш}} / Fd_{\text{с}} = \gamma_c 2\pi R \gamma_c f f l / \gamma_c 2\pi r \gamma_c f f l = R / r.$$

Показателем эффективности применения уширения (как отмечено ранее) будет отношение удельной несущей способности сваи с уширением к этому же показателю для цилиндрической; другими словами, отношение прироста несущей способности K к приросту объема сваи m , т. е. стоимости.

В табл. приведены значения K / m в зависимости от радиуса уширения R при значениях $l = 1,0$ м и $r = 0,1$ м.

Данные, представленные в табл., позволяют увидеть зависимость, предполагаемую ранее. Удельная несущая способность сваи с уширением растет с ростом R от 1,00 до 1,50 (при $R = 0,20$ м), а затем падает до 1,0 и менее по сравнению с цилиндрической формой (что совершенно недопустимо на практике).

Для эффективного применения уширения необходимо назначать R , дающий максимальное значение показателя K / m (отношение удельных несущих способностей свай с уширением к цилиндрической).

³ СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. М.: Минрегион России, 2010.

Значения отношения прироста несущей способности сваи к приросту объема сваи в зависимости от радиуса уширения при $l = 1,0$ м и $r = 0,1$ м

Радиус R , м	Объем m	Несущая способность K	K / m
0,10	0,97	1,0	1,031
0,15	1,075	1,5	1,395
0,20	1,33	2,0	1,50
0,25	1,79	2,5	1,396
0,30	2,50	3,0	1,20
0,35	3,50	3,5	1,00
0,40	4,90	4,0	0,81

Для определения $R_{\text{опт}}$ необходимо взять производную от K / m по R , приравнять ее к нулю и из этого выражения найти $R = R_{\text{опт}}$:

$$K / m = (R / r) / (1 + (2R^3 / 3) / r^2 l - R / l). \quad (1)$$

Решение уравнения третьей степени, полученного после дифференцирования, весьма громоздко. Поэтому найдем $R_{\text{опт}}$ для обратной величины m / K (минимальный прирост объема сваи на 1 кН несущей способности).

$$m / K = (1 + (2R^3 / 3) / r^2 l - R / l) / R / r = r / R + (2R^2) / (3rl) - r / l;$$

$$(m / K)' = (r / R + (2R^2) / (3rl) - r / l)' = 4R / (3rl) - r / R^2.$$

Отсюда:

$$4R / (3rl) - r / R^2 = 0; R = R_{\text{опт}} = (3r^2 l / 4)^{1/3}. \quad (2)$$

Для значений, приведенных в табл., $R_{\text{опт}}$ равно:

$$R_{\text{опт}} = (3 \cdot 0,1^2 \cdot 1,0 / 4)^{1/3} = 0,196 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} K / m &= (R / r) / (1 + (2R^3 / 3) / (r^2 l) - R / l) = \\ &= 1,96 / (1 + 2 \cdot 0,196^3 / (3 \cdot 0,01 \cdot 1,0) - 0,196) = 1,508. \end{aligned}$$

Удельная несущая способность такой сваи на выдергивание будет в 1,508 раза выше, чем у цилиндрической.

Выводы:

1. Для свай, изготовленных по технологии ТИСЭ, работающих на выдергивание, размер уширения определяет удельную несущую способность всей конструкции.

2. Для обеспечения максимальной удельной несущей способности свай радиус уширения должен приниматься по выражению (2).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИС Госстроя России. — М.: Стройиздат, 1986. 72 с.
2. Невзоров А. Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. М.: АСВ, 2000.
3. Рекомендации по совершенствованию конструкций и норм проектирования искусственных сооружений, возводимых на пучинистых грунтах с учетом природных условий БАМа / ВНИИТС. М.: ЦНИИС, 1981.
4. Холодов С. П. Малонагруженные фундаменты в условиях большой глубины промерзания // Системы. Методы. Технологии. 2015. Вып. 2. С. 138—141.

5. Холодов С. П. Расчет буронабивной сваи с уширением в климатических условиях Сибири // Системы. Методы. Технологии. 2017. Вып. 2. С. 138—142.

© Холодов С. П., Преснов О. М., Серватинский В. В., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Холодов С. П., Преснов О. М., Серватинский В. В. Выбор размеров уширения для буронабивных свай с уширенной пятой // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 44—47.

Об авторах:

Холодов Сергей Павлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений, Сибирский федеральный университет. Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79, holodovsp@mail.ru

Преснов Олег Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений, Сибирский федеральный университет. Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79, presn955@mail.ru

Серватинский Вадим Вячеславович — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и городских сооружений, Сибирский федеральный университет. Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79, vservatinsky@list.ru

S. P. Kholodov, O. M. Presnov, V. V. Servatinskii

THE CHOICE OF THE DIMENSION OF BROADENING FOR BORED PILES WITH AN ENLARGED BASE

The authors consider bored piles with an enlarged base. Such piles are an effective pile structure that works for pulling. This type of work is widely applied for short piles in the conditions of a deep frost depth. The technology of TISE bored piles assumes the production of a broadening in the form of a hemisphere in its lower part. The efficiency (the specific bearing capacity) of use of this broadening will be changeable: with the growth of the radius of R hemisphere first it grows, then decreases. The technique of determination of R_{opt} radius, which provides the greatest specific bearing capacity of the structure, is given.

Key words: pile bases, deep frost depth, small loadings, bored piles with broadening, optimal dimensions of broadening.

For citation:

Kholodov S. P., Presnov O. M., Servatinskii V. V. [The choice of the dimension of broadening for bored piles with an enlarged base]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2018, iss. 51(70), pp. 44—47.

About authors:

Kholodov Sergei Pavlovich – Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Highways and Urban Structures Department, Siberian Federal University. 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, holodovsp@mail.ru

Presnov Oleg Mikhailovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Highways and Urban Structures Department, Siberian Federal University. 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, presn955@mail.ru

Servatinskii Vadim Vyacheslavovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Head of Highways and Urban Structures Department, Siberian Federal University. 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, vservatinsky@list.ru

УДК 624.074.27+624.016

А. В. Чесноков, В. В. Михайлов, И. В. Долматов

Липецкий государственный технический университет

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОКРЫТИЯ С ГИБКИМ ВЕРХНИМ ПОЯСОМ

Исследована предварительно напряженная конструкция покрытия, состоящая из несущего каркаса и полимерной мембраны и предназначенная для устройства навесов над временными сооружениями. Верхний пояс конструкции покрытия приобретает куполообразную форму в результате упругого деформирования составляющих его гибких прямолинейных стержней. Рассмотрено действие внешних нагрузок на исследуемую конструкцию. Выявлены наиболее неблагоприятные воздействия. Предложены решения, направленные на улучшение работы конструкции покрытия.

Ключевые слова: предварительно напряженный гибкий стержень, фиброармированный пластик, упругодеформируемая конструкция.

Исследуемая конструкция приведена на рис. 1. Она состоит из несущего каркаса, включающего верхний и нижний пояс, а также полимерной мембраны. Мембрана укладывается на верхний пояс, состоящий из высокопрочных стержней, обладающих пониженной жесткостью на изгиб. В исходном ненапряженном состоянии данные гибкие стержни прямолинейны. Они расположены радиально и находятся в одной плоскости. Натяжение стальных тросов, образующих нижний пояс, приводит к деформированию гибких стержней, а каркас исследуемой конструкции приобретает куполообразное очертание (рис. 2) [1].

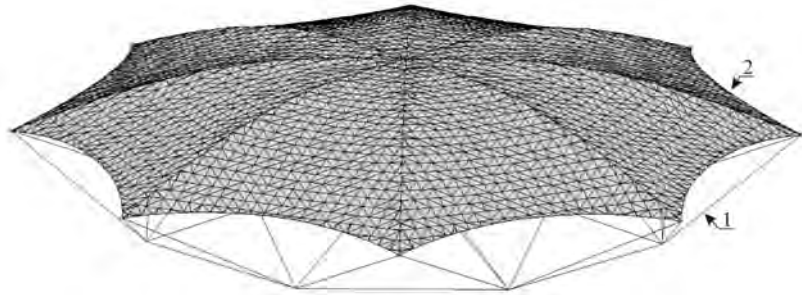


Рис. 1. Предварительно напряженная конструкция покрытия: 1 — нижний пояс, состоящий из стальных тросов и стоек; 2 — гибкий верхний пояс, покрытый полимерной мембраной

Исследуемая конструкция относится к так называемым системам *bending-active* [2], которые меняют свою форму в процессе упругого деформирования гибких высокопрочных элементов. Изогнутые ребра, лежащие в вертикальных плоскостях, более эффективно воспринимают внешние нагрузки по сравнению с прямолинейными элементами. Вместе с тем исследуемая конструкция требует меньших затрат на изготовление и транспортировку по сравнению с обычными, жесткими покрытиями куполообразного или арочного очертания [3].

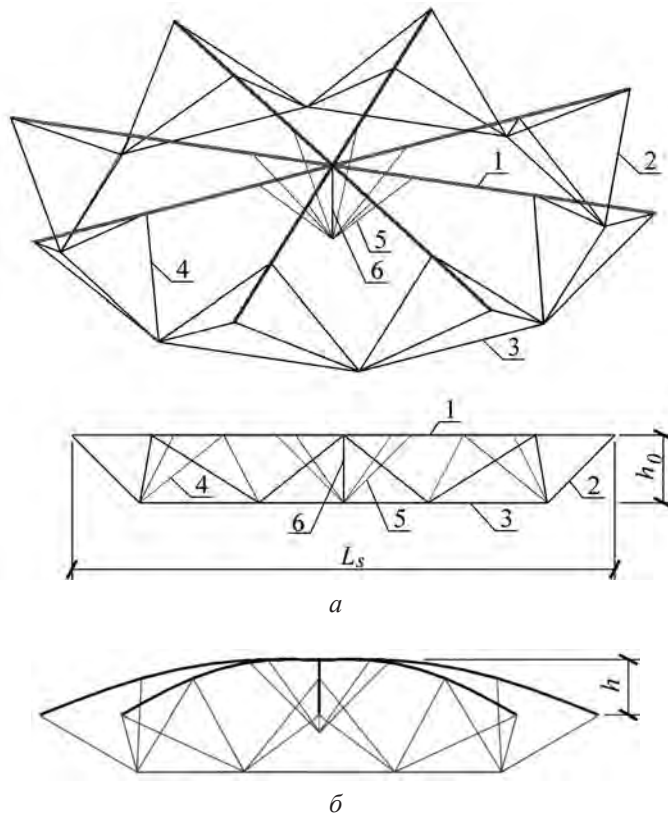


Рис. 2. Каркас конструкции покрытия: *a* — начальное, недеформированное положение; *б* — эксплуатационное положение: 1 — гибкий стержень верхнего пояса; 2 — диагональный несущий трос; 3 — кольцевой напрягающий трос; 4, 5 — наружная и внутренняя распорка; 6 — связь

Системы bending-active благоприятствуют применению облегченных светопропускаемых покрытий, например полимерных мембран, имеющих поверхность двоякой кривизны [4]. Полимерная мембрана, обеспечивая защиту перекрываемого объема здания от атмосферных осадков и излишней солнечной радиации, выполняет функции связей, предотвращая потерю устойчивости арочного верхнего пояса [5].

Работая совместно с изгибаемыми элементами, полимерная мембрана обеспечивает большую перекрываемую площадь по сравнению с имеющими широкое распространение тентовыми покрытиями, напрягаемыми контурными тросами-подборами [6, 7].

Изгибаемые стержни систем bending-active рекомендуется выполнять из высокопрочных низкомодульных материалов, например из фиброармированных пластиков, имеющих отношение прочности при изгибе, МПа, к модулю упругости, ГПа, не менее 2,5 [3].

Верхний пояс 1 исследуемой конструкции покрытия (см. рис. 2) принят трубчатого поперечного сечения из пултрузионного стеклопластика с модулем упругости, равным 24 ГПа. Наружный диаметр трубы 99 мм, толщина стенки 5 мм. Предельно допустимый изгибающий момент в верхнем поясе может быть оценен величиной $M_{\text{lim}} = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ исходя из прочности материала, равной

185 МПа [8]. Указанная прочность характерна для кратковременного действия нагрузки [8, 9]. Это ограничивает область применения стеклопластиков временными сооружениями.

Нижний пояс исследуемой конструкции покрытия состоит из диагональных 2 и кольцевых 3 тросов диаметром 10,1 мм [10], объединенных со стержнями верхнего пояса распорками и связями 4—6. Для обеспечения устойчивости элементов верхнего пояса и снижения моментов относительно вертикальных осей распорки 4 расположены под наклоном [11—13].

Начальный пролет и высота исследуемой конструкции (рис. 2, а) приняты равными: $L_s = 12$ м и $h_0 = 1,5$ м соответственно. После натяжения тросов нижнего пояса пролет уменьшается на 0,348 м. При этом верхний пояс получает искривление вверх на величину $h = 1,145$ м.

Ограждением исследуемой конструкции является гибкая полимерная мембрана, состоящая из полиэфирных волокон и ПВХ-покрытия. Модуль деформации мембраны вдоль основы принят равным 1200 кН/м, вдоль утка — 800 кН/м. Форма поверхности полимерной мембраны найдена в специализированном программном комплексе EASY 8.3 по известным координатам узлов верхнего пояса в напряженном состоянии (рис. 2, б).

Относительно малая жесткость элементов, образующих верхний пояс рассматриваемой конструкции покрытия, обуславливает проявление геометрически нелинейных свойств, выражающихся в повышенной деформативности и так называемом струнном эффекте [14]. Струнный эффект заключается в появлении компонентов касательной матрицы жесткости деформируемого элемента конструкции, учитывающих дополнительные реакции, возникающие за счет наличия продольного усилия. Дополнительные реакции действуют в направлениях, перпендикулярных элементам. Они могут рассматриваться как упругоподатливые опоры [15, 16].

Статический анализ системы bending-active требует учета последовательности ее возведения и нагружения, так как напряжения, возникшие в процессе изгиба изначально прямолинейных стержней, влияют на ее напряженно-деформированное состояние при последующих воздействиях [17].

Анализ работы исследуемой конструкции покрытия выполнен в программном комплексе EASY 8.3 с учетом геометрической нелинейности. При этом рассмотрены две основные стадии напряженно-деформированного состояния: натяжение тросов нижнего пояса, вызывающее деформирование гибких стержней, и воздействие внешних нагрузок на предварительно напряженную конструкцию.

На первой стадии (см. рис. 2, а) конструкция состоит из прямолинейных элементов, начальные длины L_0 которых соответствуют их геометрическим длинам L_g , за исключением натягающих тросов 3, при помощи которых производится трансформация конструкции в эксплуатационное положение. Начальная длина натягающего троса 3 определяется выражением

$$L_0 = L_g - \Delta L_p, \quad (1)$$

где ΔL_p — уменьшение длины троса при помощи специальных приспособлений, например талрепа или стяжной муфты.

Внешние нагрузки, действующие на первой стадии, должны быть ограничены собственным весом конструкции покрытия. Приложение эксплуатационной нагрузки на исследуемую конструкцию, находящуюся в процессе монтажа и создания в ее элементах предварительных напряжений, приведет к существенным непроектным деформациям верхнего пояса. В результате конструкция займет положение устойчивого равновесия, не соответствующее требуемому (рис. 3) [1].

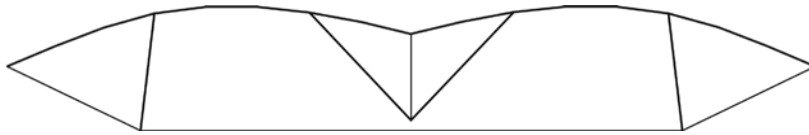


Рис. 3. Действие внешней нагрузки интенсивностью $0,3 \text{ кН/м}^2$ совместно с процессом натяжения элементов нижнего пояса

Для перехода ко второй эксплуатационной стадии работы конструкции необходимо пересчитать координаты незакрепленных узлов $\vec{X}_0$ в соответствии с их перемещениями $\vec{\Delta X}$ (2), сохранив при этом начальные длины всех элементов L_0 , вычисленные на предшествующей стадии, а также учесть угловые деформации $\Delta\psi$ (рис. 4) изогнутых элементов (3), (4) [1]:

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_0 + \vec{\Delta X}, \quad (2)$$

$$\Delta\psi_s = \frac{L_0}{6EI} (2M_s - M_e), \quad (3)$$

$$\Delta\psi_e = \frac{L_0}{6EI} (2M_e - M_s), \quad (4)$$

где индексы s и e соответствуют начальному и конечному узлам данного стержня; EI — жесткость стержня на изгиб; M — изгибающий момент.

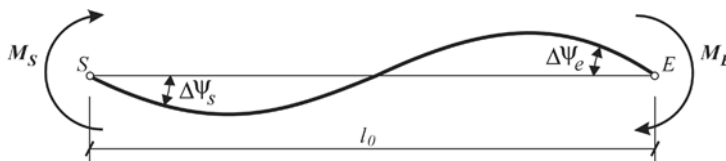


Рис. 4. Угловые деформации стержня при изгибе

На второй стадии работы конструкции внешние нагрузки определяются условиями ее эксплуатации, включающими в первую очередь климатические факторы.

В данной работе учтены следующие эксплуатационные нагрузки:

нагрузка 1, равномерно распределенная по всей площади покрытия и действующая сверху вниз;

нагрузка 2, отличающаяся от нагрузки 1 тем, что она распределена на половине пролета покрытия;

нагрузка 3, отличающаяся от нагрузки 1 тем, что она действует снизу вверх.

Вследствие радиального расположения элементов верхнего пояса внешние нагрузки 1—3 были приведены к треугольным, распределенным по длине (рис. 5).



Рис. 5. Схема действия нагрузок: а — нагрузка 1; б — нагрузка 2; в — нагрузка 3

Под действием нагрузки типа 1 исследуемая конструкция проявляет поведение, близкое к линейному. Максимальный изгибающий момент в элементах верхнего пояса имеет тенденцию к уменьшению при росте внешней нагрузки от нуля до $0,5 \text{ кН/м}^2$. Последующее увеличение нагрузки приводит к линейному возрастанию величины изгибающего момента. Исходя из предельно допустимого момента в верхнем поясе, равного $6 \text{ кН} \cdot \text{м}$, максимальная нагрузка на покрытие может быть оценена величиной в $1,75 \text{ кН/м}^2$. При этом отношение прогиба верхнего пояса к размеру пролета конструкции не превышает $1 / 150$. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность исследуемой конструкции, находящейся под действием нагрузки типа 1 (рис. 6, а).

Нагрузка типа 2, действующая на половине пролета покрытия, вызывает значительные по величине и существенно нелинейные по характеру деформации (рис. 6, б). Она также приводит к росту напряжений в верхнем поясе исследуемой конструкции, по сравнению с нагрузкой типа 1 равной интенсивности. Предельно допустимая нагрузка на покрытие в этом случае может быть оценена величиной $0,4 \text{ кН/м}^2$. При этом прогиб составляет $1 / 60$ от размера пролета, что является неприемлемым по эксплуатационным соображениям.

Установка связей, объединяющих узлы нижнего пояса между собой (рис. 7), приводит к существенному снижению величины напряжений и деформаций исследуемой конструкции (рис. 6, в) [1]. Максимальный относительный прогиб от нагрузки 2 интенсивностью $1,75 \text{ кН/м}^2$ имеет место в четверти пролета и составляет $1 / 165$ (при отсутствии напряженной мембраны) и $1 / 220$ (при наличии мембраны, опирающейся на верхний пояс). Зависимости продольных сил, изгибающих моментов и перемещений от величины внешней нагрузки, изменяющейся в диапазоне от нуля до $1,75 \text{ кН/м}^2$, приобретают линейный характер.

Связи по нижнему поясу (см. рис. 7) способствуют уменьшению изгибающих моментов M_w (моменты «из плоскости») в стержнях верхнего пояса относительно вертикальных осей. Эпюры M_w приведены на рис. 8 [1]. Из рисунка видно, что за счет появления момента обратного знака (так называемого отрицательного момента) максимальное значение M_w сокращается в 1,7 раза при условии установки связей по сравнению с конструкцией покрытия без связей. Таким образом, связи по нижнему поясу повышают эффективность работы распорок 4 (см. рис. 2), которые в соответствии с [11] приняты наклонными к вертикальным плоскостям элементов верхнего пояса для уменьшения моментов M_w .

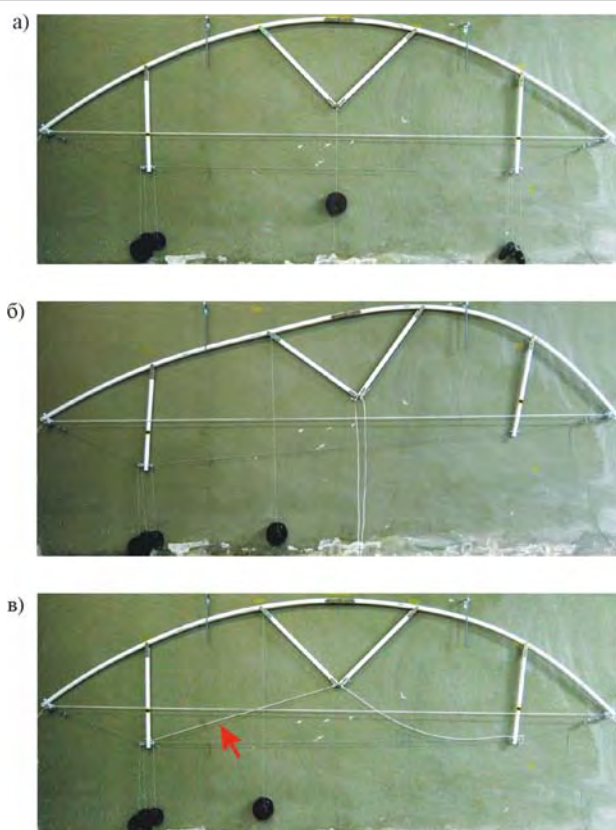


Рис. 6. Экспериментальные исследования плоской модели конструкции покрытия: *a* — нагрузка действует по всему пролету; *б, в* — нагрузка действует на левой половине пролета; стрелкой показана связь по нижнему поясу

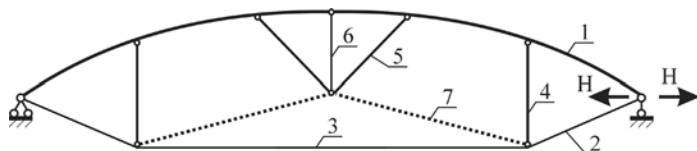


Рис. 7. Плоское сечение рассматриваемой конструкции: элементы 1—6 — см. рис. 2; 7 — связь по нижнему поясу

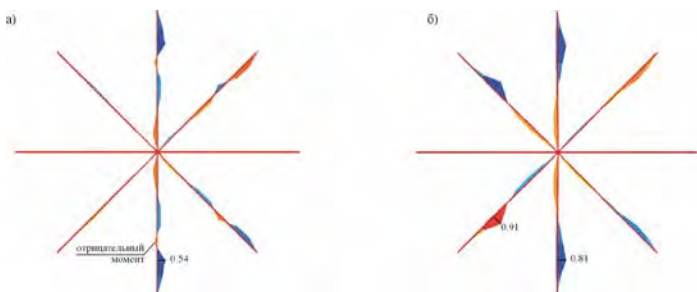


Рис. 8. Эпюры моментов в стержнях верхнего пояса относительно вертикальных осей, M_w : *a* — конструкция покрытия с установленными связями по нижнему поясу (рис. 7); *б* — связи отсутствуют

Исследуемая конструкция покрытия, находящаяся под действием нагрузок 1 или 2, направленных сверху вниз (см. рис. 5), является самораспорной, так как горизонтальные реакции от верхнего и нижнего поясов уравниваются друг друга (см. рис. 7).

Данное равновесие нарушается при изменении направления действия нагрузки. Нагрузка типа 3 (см. рис. 5), действующая противоположно по сравнению с нагрузками 1 и 2, приводит к выключению из работы тросов нижнего пояса, способных воспринимать только растягивающие усилия [1]. Как следствие, верхний пояс, состоящий из гибких стержней, претерпевает значительные деформации, сравнимые по величине с размерами конструкции покрытия (рис. 9).

Для обеспечения работоспособного состояния исследуемой конструкции предлагается установка горизонтальных связей в опорных узлах ребер, лежащих в трех разных плоскостях (рис. 10). Данные связи должны быть устроены только после натяжения нижнего пояса и перехода конструкции покрытия в эксплуатационную стадию (см. рис. 2, б).

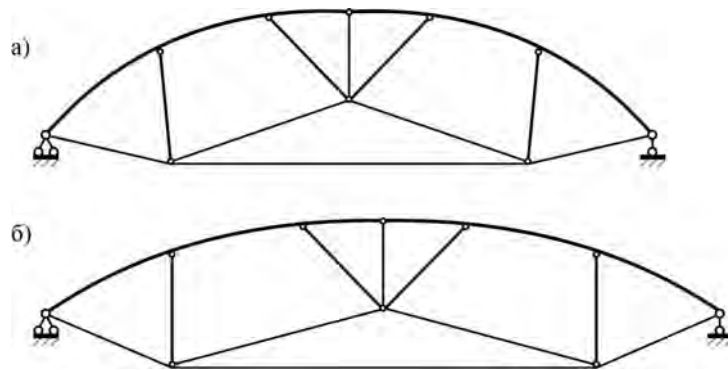


Рис. 9. Деформированная схема конструкции покрытия: а — под воздействием нагрузки 3 (см. рис. 5); б — без внешней нагрузки

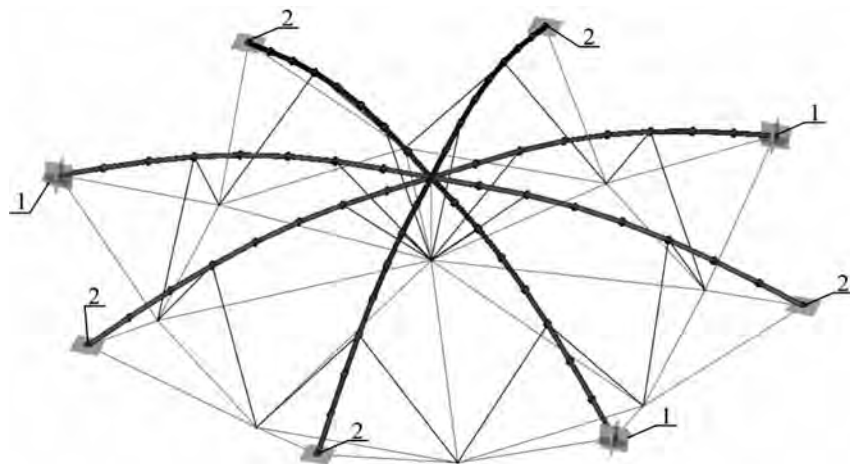


Рис. 10. Пространственный каркас конструкции покрытия: 1 — неподвижная опора; 2 — опора, закрепленная только в вертикальном направлении

Горизонтальные связи в опорных узлах (см. рис. 10) позволяют уменьшить деформации исследуемой конструкции покрытия от нагрузки, соответствующей предполагаемому ветровому воздействию, имеющему интенсивность $0,5 \text{ кН/м}^2$ (тип 3, см. рис. 5), до 11 мм. При этом максимальное значение изгибающего момента в стержнях верхнего пояса составит $4 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

По результатам работы можно сделать следующие *выводы*:

1. Исследуемая конструкция проявляет линейное поведение при действии равномерно распределенной нагрузки по всему пролету, направленной сверху вниз.

2. Неравномерное воздействие на конструкцию, а также нагрузка, действующая снизу вверх, вызывают проявление так называемых геометрически нелинейных свойств, повышенные деформации и выключение из работы нижнего тросового пояса.

3. Для улучшения работы исследуемой конструкции предлагается установка связей по нижнему поясу, а также горизонтальных связей в опорных узлах.

4. Исследуемая конструкция предназначена для устройства навесов торговых павильонов, покрытия площадок культурно-развлекательных мероприятий и аналогичных временных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chesnokov A. V., Mikhaylov V. V., Dolmatov I. V. Bending-active dome-shaped structure // Structural membranes 2017: proc. of the VIII international conference on textile composites and inflatable structures. Munich, Germany, 9—11 October, 2017. Pp. 427—435. URL: <http://congress.cimne.com/membranes2017/frontal/Doc/Ebook2017.pdf>
2. Construction manual for polymers + membranes / J. Knippers, J. Cremers, M. Gabler, J. Lienhard. Munchen: Institut fur internationale architektur-dokumentation, 2011. 296 p.
3. Active bending: a review on structures where bending is used as a self-formation process / J. Lienhard, H. Alpermann, C. Gengnagel, J. Knippers // International Journal of Space Structures. 2013. Vol. 28. No. 3—4. Pp. 187—196.
4. Lienhard J. Bending-active membrane structure // Tensinews. 2012. No. 22. P. 9.
5. Shaping tension structures with actively bent linear elements / T. Van Mele, L. De Laet, D. Veenendaal, M. Mollaert, P. Block // International Journal of Space Structures. 2013. Vol. 28. No. 3—4. P. 127—135.
6. Off R., Runne H. IMS research project “Batsail” // Tensinews. 2010. No. 18. Pp. 14—15.
7. Off R. IMS research project “Bat-wing sail. A new Approach to Membrane Structures” // Fabric Architecture. 2010. January—February. Pp. 24—25.
8. Композитные материалы SMC/BMC. Пултрузия / Официальный сайт ООО «Татнефть-Прескомпозит». URL: <http://www.tnpc.ru/rus/produkciya/pultruziya/>
9. Materials for actively-bent structures / N. Kotelnikova-Weiler, C. Douthe, E. L. Hernandez, O. Baverel, C. Gengnagel, J. F. Caron // International Journal of Space Structures. 2013. Vol. 28. No. 3—4. Pp. 229—240.
10. PFEIFER Tension Members // PFEIFER seil- und hebetechnik GMBH, 2017. 76 p. URL: <http://www.pfeifer.de/en/cable-structures/download/brochures/?dlid=4586>
11. Chesnokov A. V., Mikhaylov V. V., Dolmatov I. V. Development of the hybrid dome and research of its behavior under load // Structural membranes 2015: proc. of the VII international conference on textile composites and inflatable structures. Barcelona, Spain, 19—21 October, 2015. Pp. 469—476. URL: <http://congress.cimne.com/membranes2015/frontal/doc/Ebook2015.pdf>
12. Гибридный купол: пат. 160422 Рос. Федерация / Чесноков А. В., Михайлов В. В.; заяв. 05.10.2015; опубл. 19.02.2016.
13. Чесноков А. В., Михайлов В. В. Особенности работы гибридного купола // Сб. науч. тр. конф. Липец. гос. техн. ун-та, г. Липецк, 14—15 сентября 2016. Липецк, 2016. С. 284—288.
14. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. М.: Высшая школа, 1986. 608 с.

15. Чесноков А. В. Двухъярусная тросовая купольная система на эллиптическом плане: дис... канд. техн. наук. Липецк, 2004. 226 с.

16. Lienhard J. Bending-active structures. Form-finding strategies using elastic deformation in static and kinematic systems and the structural potentials therein. Stuttgart: Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart, 2014. 211 p.

17. Lienhard J., Knippers J. Considerations on the scaling of bending-active structures // International Journal of Space Structures. 2013. Vol. 28. No. 3—4. Pp. 137—147.

© Чесноков А. В., Михайлов В. В., Долматов И. В., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Чесноков А. В., Михайлов В. В., Долматов И. В. Предварительно напряженная конструкция покрытия с гибким верхним поясом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 48—56.

Об авторах:

Чесноков Андрей Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры строительного производства, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, avchesnokov@lipetsk.ru

Михайлов Виталий Витальевич — д-р техн. наук, профессор кафедры строительного производства, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, mmvv46@rambler.ru

Долматов Иван Викторович — аспирант кафедры строительного производства, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, dolmivv@gmail.com

A. V. Chesnokov, V. V. Mikhailov, I. V. Dolmatov

PRE-STRESSED ROOF STRUCTURE WITH FLEXIBLE TOP CHORD

Pre-stressed roof structure consists of a bearer frame and a polymer membrane. It is intended for temporary canopies. The top chord of the roof structure is made of flexible straight bars. It takes on dome-like shape due to elastic deformation of the bars. Effect of external loads, applied on the structure, is considered. The most unfavorable load-cases are determined. Engineering solutions for the improvement of the structural behavior are offered.

Key words: pre-stressed flexible bar, fiber reinforced polymer, bending-active.

For citation:

Chesnokov A. V., Mikhailov V. V., Dolmatov I. V. [Pre-stressed roof structure with flexible top chord]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 48—56.

About authors:

Chesnokov Andrei Vladimirovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Civil Engineering Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya St., Lipetsk, 398600, Russian Federation, avchesnokov@lipetsk.ru

Mikhailov Vitalii Vital'ievich — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Civil Engineering Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya St., Lipetsk, 398600, Russian Federation, mmvv46@rambler.ru

Dolmatov Ivan Victorovich — Postgraduate student of Civil Engineering Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya St., Lipetsk, 398600, Russian Federation, dolmivv@gmail.com

УДК 621.891:69.002.5

О. В. Бурлаченко, К. С. Старовой

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАТЕРИАЛОВ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПАР ТРЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Рассмотрена проблема технологического обеспечения работоспособности строительных машин и механизмов. Описываются исследования пар трения, предложена модель граничного трения и полученные на ее основе аналитические зависимости для определения основных триботехнических параметров модифицированных рабочих слоев деталей. Даны рекомендации по применимости теории модификаторов трения. На основе физической модели трения получены композитные материалы с улучшенными технологическими и эксплуатационными характеристиками. Изложены результаты металлографических, структурно-фазовых и триботехнических исследований смазочных покрытий из разработанных материалов. С учетом теории подобия получены зависимости для расчета интенсивности изнашивания натуральных пар на основе результатов испытаний образцов на машинах трения. Приведены результаты использования разработанных материалов и технологий в машиностроении.

К л ю ч е в ы е с л о в а: строительные машины и механизмы, металлокерамический защитный слой, минеральные модификаторы поверхности трения, триботехника, нагартовка.

Потребность в повышении технико-экономической эффективности строительных технологий предъявляет более жесткие требования к работоспособности средств комплексной механизации строительства.

В свою очередь, улучшение качественных и экономических показателей прежде всего определяется эксплуатационными свойствами (ЭС) сопряжений деталей. Это связано с тем, что около 85 % отказов машин происходит из-за износа, потери герметичности, недопустимых и неустойчивых относительных перемещений, в частности ненадежности и невысокой долговечности деталей [1, 2]. Затраты на техническое обслуживание и ремонт машин могут превышать в несколько раз их стоимость. В современных условиях повышение работоспособности продукции в машиностроении требует принципиально нового подхода к проблеме обеспечения высокого ресурса сопряжений машин и оборудования.

Основным направлением в борьбе с износом в машиностроении было повышение твердости трущихся поверхностей путем цементирования, азотирования, хромирования, цианирования, поверхностной закалки. Однако в последнее время, в связи с повышением интенсивности рабочих процессов и ростом давлений в узлах трения, традиционные методы упрочнения деталей в ряде случаев себя не оправдывают из-за высокой стоимости. Поэтому на данный момент более перспективно направление повышения износостойкости, которое связано с эффектом самоорганизующихся процессов [3—8]. Одно из наиболее рациональных направлений в данной ситуации — повышение износостойкости путем управления триботехническими процессами с помощью материалов, модифицирующих свойства активных поверхностных слоев.

Известно такое направление, как безразборное восстановление, представляющее собой не просто введение в область трения специального состава, а комплекс мероприятий по очистке и регулировке, восстановлению смазочных свойств, а также восстановлению пар трения на нано- и микроуровне. В некоторых случаях при обработке пар трения этим методом бывает достаточно повышения ремонтных и номинальных размеров и улучшения триботехнических свойств. Принцип данного метода — введение модификаторов поверхностного трения, различных добавок в масло, которые при эксплуатации трибообъекта снижают коэффициент трения, а также повышают прочность, формируя более качественный металлокерамический защитный слой (МКЗС). В некотором ряде случаев бывает прирост массы, что указывает на восстановление трущихся деталей, а также на повышение их прочности. Минеральные модификаторы поверхности трения (ММПТ) — это многокомпонентная, мелкодисперсная смесь минералов, катализаторов и добавок. Одни из минералов — это серпентин и шунгитовый углерод —окаменевшая древнейшая нефть или аморфный, фуллереноподобный, некристаллизирующийся углерод.

Теоретическими предпосылками безразборного сервиса (восстановления) явились исследования в теории самоорганизации, предсказанной бельгийским физиком и физикохимиком русского происхождения И. Р. Пригожиным.

При обработке пар трения, в зависимости от конструкции и условий эксплуатации, ММПТ вводятся в консистентную смазку или наносятся непосредственно на поверхность обрабатываемых деталей. ММПТ не растворяются в нефтепродуктах, не вступают с ними в химические реакции, не меняют вязкость, экологически безвредны [9—16]. Попадая на поверхность трения и контакта механизмов, частицы ММПТ сами модифицируются и модифицируют поверхности пар трения по следующему алгоритму:

- 1) домол частиц ММПТ выступами микрорельефов поверхностей сопряженных деталей;
- 2) очистка микрорельефа пятен контакта сопряженных деталей;
- 3) плотная нагартровка домолотых частиц ММПТ в углублениях микрорельефа контактируемых поверхностей сопряженных деталей;
- 4) образование МКЗС (прохождение реакции замещения с образованием новых кристаллов, составляющих МКЗС).

В работающем механизме поверхности пары трения сближаются под нагрузкой. При этом происходит разрыв защитных пленок в местах контакта, создаваемых присадками и маслом и слоем элементов микрорельефа поверхностей трения. В местах выступов слома происходят микровспышки, разрушающие присадки и масла. Данные процессы приводят к загрязнению микрорельефа поверхностей трения и масла.

1. Домол элементов ММПТ выступами микрорельефа поверхностей сопряженных деталей. Выступы микрорельефа поверхностей сопряженных деталей, как зубья своеобразной мельницы, дробят частицы ММПТ, попавшие в зону трения (рис. 1). При дроблении частиц происходит интенсификация процессов микросхватывания и микросваривания, так как в местах сломов выделяется наибольшее количество энергии, которое сопровождается повышением температуры.

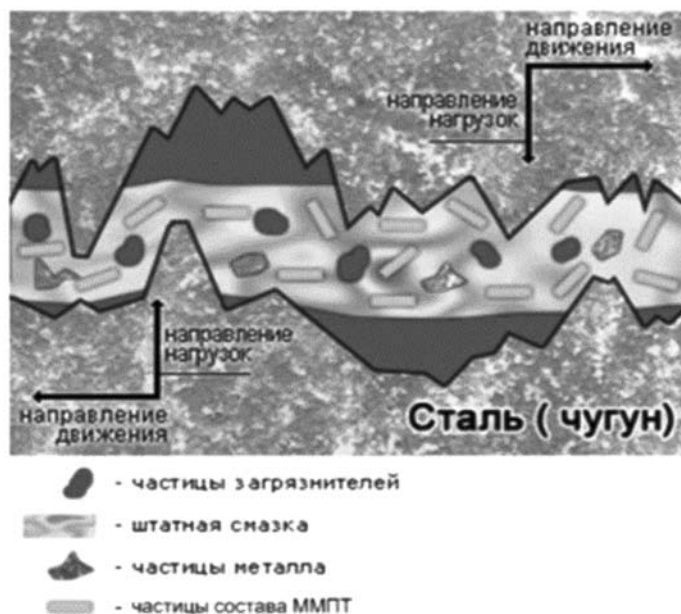


Рис. 1. Дробление частиц минеральных модификаторов поверхности трения

В локальных зонах сломов при больших температурах ($t = 900 \dots 1200^\circ\text{C}$) в присутствии частиц ММПТ в результате микрометаллургических процессов почти мгновенно происходит реакция замещения с последующим образованием новых кристаллов. Таким образом, в местах выступов появляются первые пятна МКЗС (рис. 2).

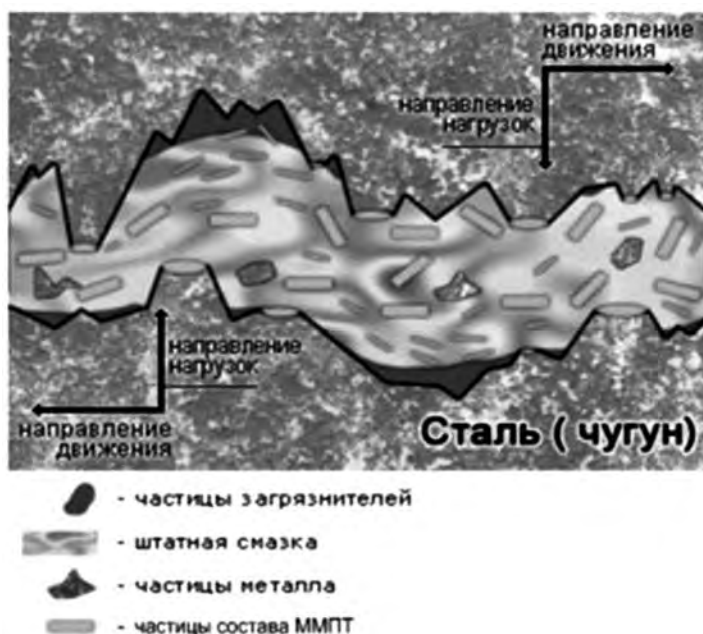


Рис. 2. Образование новых кристаллов минералов модификатора поверхности трения

Толщина данных пятен относительно мала, так как изначально отрабатывается незначительное количество частиц ММПТ в связи с ограниченностью их числа в зоне трения. В процессе размола частицы исходного ММПТ размалываются до составляющих, имеющих определенную структуру. Уже в процессе домола частиц ММПТ происходит механическое удаление загрязнителей из углублений микрорельефа поверхностей.

2. Очистление микрорельефа пятен контакта сопряженных деталей. Как показывает практика, особенная структура микрочастиц ММПТ и используемые добавки помогают добиться более качественной очистки микрорельефа на любых поверхностях, чем это достигается современной автохимией, которая смывает загрязнения, но полностью не вычищает микрорельеф.

При очистке микрорельефа поверхностей в масло попадает большое количество ранее притертых и утрамбованных загрязнителей (например, такие, как разложение смазок и продукты износа). Огромное их количество может сильно уменьшить эффективность операции плотной нагартовки частиц ММПТ. Именно поэтому важно контролировать состояние масла и менять его в случае сильного загрязнения.

Микрочастицы ММПТ могут очистить микрорельеф практически от любых загрязнителей. Если во время очистки все идет нормально, то уже через час приработки ММПТ можно увидеть изменения в параметрах работы восстанавливаемого механизма.

3. Плотная нагартовка домолотых частиц ММПТ в углубления микрорельефа контактируемых поверхностей сопряженных деталей. Важный этап, который обеспечивается абсолютной спайностью микрочастиц ММПТ, их слабомагнитными свойствами и ориентированием по направлению к наименьшему механическому сопротивлению.

В любой точке плоскости трения электромагнитные микрополя выстраивают частицы ММПТ в особом порядке. Абсолютная спайность обеспечивает возобновление сил взаимодействия данных частиц. Более того, выступы микрорельефа плоскостей трения при контакте могут еще и утрамбовывать частицы (рис. 3).

Все это вместе приводит к тому, что нагартовка становится настолько плотной, что по своей твердости не уступает твердости самого металла, на котором происходит приработка ММПТ.

4. Прохождение реакции замещения с образованием новых кристаллов МКЗС. В конечном счете, после удачного прохождения всех вышесказанных этапов, появляется более эффективная защита от износа, чем это делают штатные присадки и смазки. Кроме того, понижается тепловыделение на поверхности, а также наиболее эффективно выполняет свою работу масляный клин, хоть и остается загрязненным.

В результате плотной нагартовки поддерживается важный контакт микрочастиц ММПТ (с особыми добавками к нему) с металлом поверхностного слоя пятна контакта. Наличие еще и катализаторов в ходе трения инициирует реакцию замещения таких атомов, как магний, в кристаллических решетках частиц ММПТ на атомы железа поверхностного и подповерхностного слоев металла контактируемой плоскости детали. При этом образуются новые кри-

сталлы с наиболее объемной кристаллической решеткой, которые в своей массе образуют слой, начинающий «подниматься» над поверхностью пятна контакта, при этом компенсируя износ (рис. 4).



Рис. 3. Нагартовка частиц минеральных модификаторов поверхности трения



Рис. 4. Замещение частиц минеральных модификаторов поверхности трения

Как только частицы ММПТ попадают в зону трения, они модифицируются на поверхности образующегося МКЗС и выравнивают его. Толщина слоев МКЗС равна количеству частиц ММПТ, нагартованных в углубления микрорельефа поверхностей, и энергии, которая выделяется при контакте и трении (рис. 5).



Рис. 5. Образование металлокерамического защитного слоя

Толщина слоя саморегулируется: можно заметить рост МКЗС при выделении определенного количества энергии от трения. В результате роста МКЗС восстанавливаются увеличенные зазоры, и это приводит к снижению выделения энергии трения и в конечном счете — к прекращению реакции замещения, т. е. останавливается дальнейший рост МКЗС. Где отсутствует трение, такой слой не образуется на поверхностях. Таким образом происходит оптимизация зазоров в сопряжениях и выравнивание поверхностей трения деталей машин.

Полученный МКЗС характеризуется тем, что:

- имеет общий кристаллический каркас с металлом, на котором он образовывался, вследствие чего он держится на поверхности стали намного лучше, чем никель, хром и различные наплавки;

- затрудняет водородное изнашивание;

- имеет одинаковый коэффициент линейного термического расширения, сравнимый со сталью, на которой он образовался, т. е. не скалывается при охлаждении и нагреве;

- имеет высокую микротвердость поверхности;

- обладает низким коэффициентом сухого трения;

- обладает антикоррозионным, диэлектрическим и термостойким свойством;

- при проведении дополнительных обработок составами ММПТ есть возможность возобновления по мере его изнашивания.

Данное изобретение применяется в машиностроении и при восстановлении большинства типов узлов, в энергетике и транспорте, а также во всех отраслях промышленности механизмов машин.

Оптимальная концентрации абразивных включений в составе ММПТ. В масло введен смазочный состав ММПТ на основе серпентинита с 10%-й концентрацией абразива на основе шунгита.

Масса фиксированного кольца до испытания $M_d = 56,406$ г.

Масса фиксированного кольца после испытания $M_n = 56,408$ г.

Температура масла $T_m = 123$ °С.

На основании литературного обзора можно утверждать, что концентрация вводимого абразива в смазочный материал, без потери качества работы, составляет до 36 %, при условии, что его дисперсность не превышает 5 мкм. Были проведены испытания по определению количества вводимого фуллереноподобного абразива, а также концентрации в нем углерода. Экспериментальным путем получено, что оптимальным количеством содержания углерода в шунгите является 30 %. Оптимальная же концентрация шунгита в смазочной композиции ММПТ равна 10 %. При таких концентрациях наблюдается прирост в массе образца (кольца), а также улучшение триботехнических свойств, в сравнении с контрольным экспериментом на чистом масле и чистом масле с добавлением состава ММПТ. Рис. 6—8 наглядно иллюстрируют снижение коэффициента трения и улучшение триботехнических характеристик соответственно.

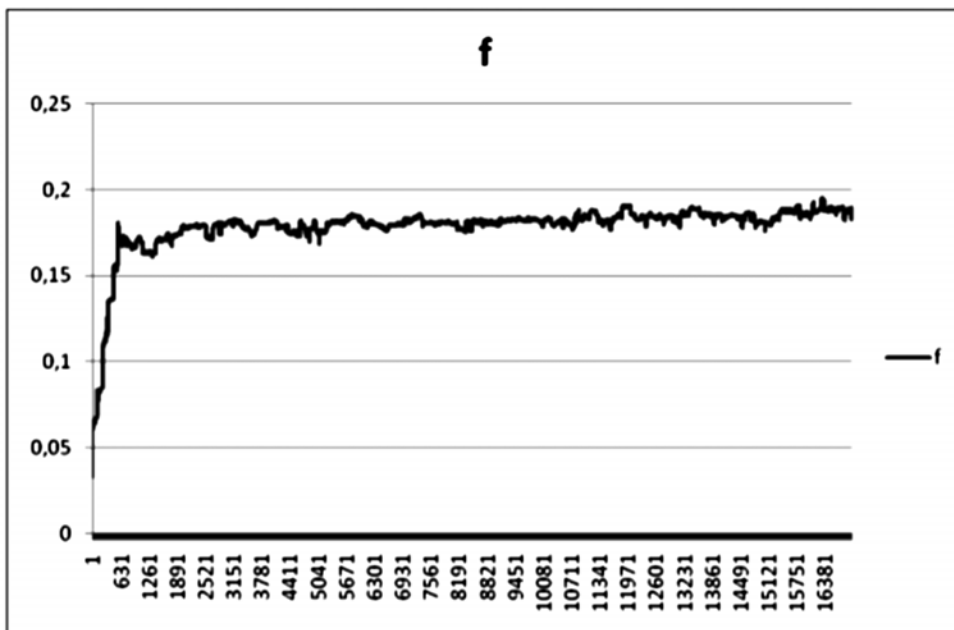


Рис. 6. График изменения коэффициента трения: f — коэффициент трения*

* URL: <http://studbooks.net/2506631/tovarovedenie/eksperimenty>

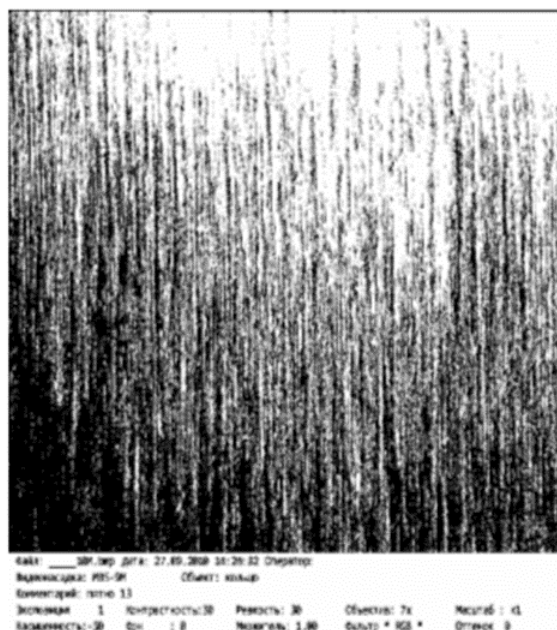


Рис. 7. Поверхность вращающегося кольца

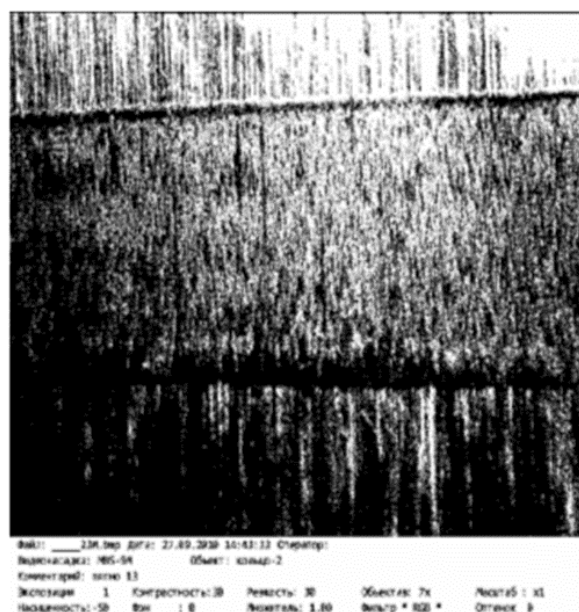


Рис. 8. Пятно контакта фиксированного кольца

Выводы:

1. Экспериментальным путем установлено положительное влияние геоматериалов на основе шунгита и серпентинита на триботехнические свойства пар трения.

2. Экспериментальным путем доказано, что включение фуллереноподобных материалов в антифрикционно-восстановительный состав ММПТ положительно влияет на его триботехнические свойства.

3. На основании полученных результатов было установлено, что наиболее эффективным абразивным включением для серпентинитов является фуллереноподобный минерал с содержанием углерода до 30 % с вводимой концентрацией 10 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Износ и безызносность: учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МСХА, 2001. 280 с.
2. Чичинадзе А. В., Берлинер Э. М., Браун Э. Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
3. Руководство по ремонту, эксплуатации и техническому обслуживанию дизельных двигателей легковых и грузовых автомобилей. М.: Петит, 2006. 384 с.
4. Колесник П. А., Кланица В. С. Материаловедение на автомобильном транспорте: учебник для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., стер. М.: Академия, 2007. 320 с.
5. The structure of lubricating layers appearing during friction in the presence of additives of mineral friction modifiers / K. N. Dolgoplov, D. N. Lyubimov, A. G. Ponomarenko, G. G. Chigareno, M. V. Boiko // *Trenie i Iznos*. 2009. Vol. 30. No. 5. Pp. 516—521.
6. Пономаренко А. Г., Чигаренко Г. Г., Барчан Г. П. О механизме образования полимеров трения в смазочных маслах // *Химия и технология топлив и масел*. 1981. № 9. С. 43—45.
7. Chigareno G. G., Ponomarenko A. G., Barchan, G. P. Tribological processes in organic mediums // *Khim. Tekhnol. Topliv Masel*. 1982. No. 3. Pp. 35—37.
8. Radical processes during friction / G. P. Barchan, G. G. Chigareno, A. G. Ponomarenko et al. // *Tren. Iznos*. 1983. Vol. 4. No. 2. Pp. 194—201.
9. Кужаров А. С., Онищук Н. Ю. Металлоплакирующие смазочные материалы // *Долговечность трущихся деталей машин: сб. науч. тр. Вып. 3. М.: Машиностроение, 1988. С. 96—143.*
10. Nikitin I. V., Pustovoi I. F., Chervonenko Yu. A. Composition for the modification of metals and the restoration of metal surfaces: patent of the Russian Federation No. 2169208, dated August 31, 2000.
11. Serpentine in tribo-engineering / A. V. Vashchenok, V. V. Kazarezov, I. V. Talovina, V. V. Kostenko // *Analiticheskie Idei, Metody, Tekhnol*. 2002. No. 1. Pp. 43—50.
12. А. с. 1601426. Способ формирования сервовитной пленки на трущихся поверхностях и состав для формирования сервовитной пленки на трущихся поверхностях / Т. Л. Маринич, Ш. Т. Френкель, С. Н. Зима и др. (СССР). № 735629; опубл. 09.01.87, Бюл. № 39.
13. Ponomarenko A. G., Chigareno G. G., Barchan, G. P. On mechanism of friction polymers formation in lubricant oils // *Khim. Tekhnol. Topliv Masel*. 1981. No. 9. Pp. 43—45.
14. Комбалов В. С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справ. М.: Машиностроение, 2007, 384 с.
15. Life cycle tribology / D. Dowson, M. Priest, G. Dalmaz, A. Lubrecht // Elsevier Science. 2005. Vol. 48. 900 p.
16. Myshkin N., Goryacheva I. Tribology: Trends in the half-century development // *Journal of Friction and Wear*. 2016. Vol. 37. Pp. 513—516.

© Бурлаченко О. В., Старовой К. С., 2018

Поступила в редакцию
в феврале 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Старовой К. С. Исследование влияния геоматериалов на триботехнические свойства пар трения строительных машин // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2018. Вып. 51(70). С. 57—66.

Об авторах:

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru

Старовой Константин Сергеевич — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, likinbok@yandex.ru

O. V. Burlachenko, K. S. Starovoi

**INFLUENCE OF GEOMATERIALS ON TRIBOTECHNICAL PROPERTIES
OF FRICTION PAIRS OF BUILDING MACHINES**

The authors consider the problem of technological maintenance of working capacity of building machines and mechanisms. The article describes the studies of friction pairs and provides the model of boundary friction and obtained on its basis analytical dependencies for the determination of main tribotechnical properties of the modified coatings of parts. Some recommendations on the applicability of the friction modifiers theory are given. Based on the physical model of friction, composite materials with improved technological and operational characteristics were obtained. The results of metallographic, structural and phase and tribotechnical studies of lubricating coatings from the developed materials are presented. On the basis of the similarity theory, dependences for calculating the intensity of wear of natural pairs are obtained on the basis of the results of testing specimens on friction machines. The results of using the developed materials and technologies in mechanical engineering are also provided.

Key words: building machines and mechanisms, cermet protective layer, mineral friction surface modifiers, tribotechnics, fretting.

For citation:

Burlachenko O. V., Starovoi K. S. [Influence of geomaterials on tribotechnical properties of friction pairs of building machines]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 57—66.

About authors:

Burlachenko Oleg Vasil'evich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Director for Scientific Work, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oburlachenko@yandex.ru

Starovoi Konstantin Sergeevich — Master's Degree student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, likinbok@yandex.ru

УДК 624.072.44

Г. М. Карасев, А. А. Бардыкова, В. В. Штадлер

Волгоградский государственный технический университет

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОНЦА СТЕРЖНЯ ПРИ НАГРУЗКАХ, ПРЕВЫШАЮЩИХ КРИТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ

Получено уравнение изогнутой оси сжато-изогнутого стержня в криволинейных координатах. Для стержня с неограниченной гибкостью построены графики изгиба при различных соотношениях сил. В результате проведенного исследования была определена критическая сила и отклонения верха упругого стержня высокой гибкости в одном направлении.

К л ю ч е в ы е с л о в а: стержень, высотное здание, башня, потеря устойчивости, критическая сила, смещение, изгибающий момент, дифференциальное уравнение, колебания, гибкость.

Начало исследований изогнутой оси стержня в пределах пропорциональности (упругой линии) было положено в работах Я. Бернулли в 1694 и 1705 гг. [1, 2]. Он изучал прогибы при изгибе консольной балки прямоугольного поперечного сечения, нагруженной силой, приложенной на конце. Я. Бернулли правильно установил пропорциональность кривизны изгибающему моменту, хотя и с неправильным коэффициентом пропорциональности. Эта зависимость была использована Л. Эйлером в его работах по исследованию упругих линий.

Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня Эйлер получил из условия минимума интеграла:

$$\int \frac{ds}{\rho^2}, \quad (1)$$

где ds — элемент длины стержня; ρ — радиус кривизны его оси.

Сам Я. Бернулли в 1751 г. впервые вывел дифференциальное уравнение поперечных колебаний стержня и рассмотрел ряд частных случаев [3]. Л. Эйлер не ограничился рассмотрением лишь малых прогибов. Он проинтегрировал в рядах дифференциальное уравнение для больших перемещений, в котором не пренебрегается квадратом первой производной прогиба по сравнению с единицей. Л. Эйлер также рассмотрел изгиб консольной балки переменного поперечного сечения, жесткость которой пропорциональна расстоянию от приложенной силы, изгиб консоли, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой (собственный вес), и изгиб стержня малой кривизны, полагая, что разница между конечной и начальной кривизной пропорциональна изгибающему моменту. В связи с последней задачей Эйлер установил, какой должна быть начальная (искривленная) форма консоли, для того чтобы после приложения на конце ее силы она стала прямолинейной.

Цель научно-исследовательской работы — вывести уравнение изогнутой оси сжато-изогнутого стержня в криволинейных координатах ($d\theta$, dS).

Решение такой задачи в прямолинейных координатах существует, поэтому мы исследуем решение этой задачи в криволинейных координатах. Для этого

необходимо было получить дифференциальную зависимость между изгибающим моментом и кривизной стержня (см. далее выражение (2)).

Научная новизна темы исследования заключается в следующем. Уже решенные задачи на устойчивость имеют сложное математическое решение, для решения такой задачи нужно иметь отличные знания в сфере математического анализа и затратить большое количество времени и сил. Такие методы имеют научный характер и непригодны для инженерного расчета. Следовательно, возникает потребность в более простом и быстром методе расчета, который мы попытаемся предложить.

Объектом исследования является консольно защемленный вертикально стоящий стержень, к свободному концу которого приложена сосредоточенная нагрузка.

Для решения такой задачи необходимо приложить нагрузку, превышающую критическую. Используя понятие потери устойчивости, изображается деформированная схема стержня. Составляется дифференциальное уравнение изогнутой оси сжато-изогнутого стержня в криволинейных координатах. Полученное уравнение аналогично уравнению колебаний нелинейного математического маятника.

Рассматривается два решения:

- 1) угол, составленный касательной к изогнутой оси в вершине стержня и горизонталью, мал;
- 2) угол значительный. Первый случай соответствует линейному решению, второй — нелинейному (рис. 1).

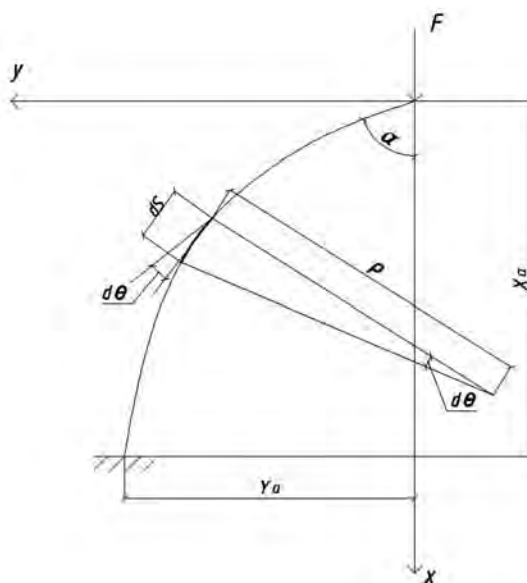


Рис. 1. Расчетная схема

Оценка величины отклонения стержня при потере устойчивости 1-го рода. Точная дифференциальная зависимость между изгибающим моментом и кривизной записывается в следующем виде [4]:

$$\frac{1}{\rho} = \pm \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}} = \frac{M_x}{EJ}. \quad (2)$$

Интегрирование уравнения (2) весьма затруднительно.

Изобразим деформированное состояние стержня, потерявшего прямолинейную форму устойчивого равновесия (рис. 2).

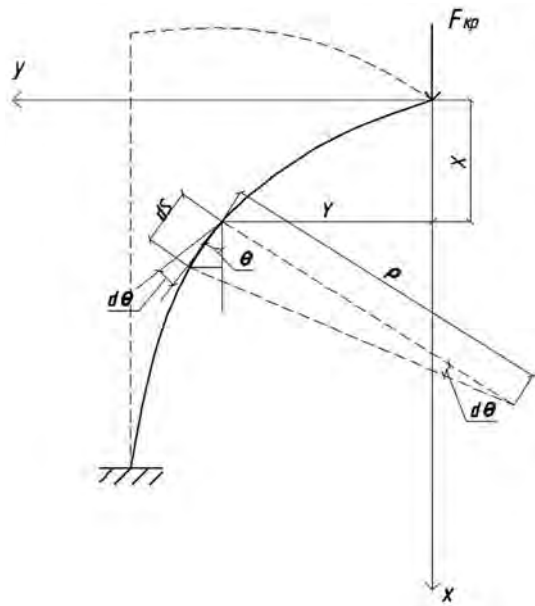


Рис. 2. Деформированное состояние стержня.

Найдем кривизну стержня $dS = \rho d\theta$, откуда

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{dS}. \quad (3)$$

Равенство (3) представляет собой точное выражение кривизны стержня. Учет кривизны (3) в формуле (2). Получим:

$$\frac{d\theta}{dS} = -\frac{FY}{EJ}. \quad (4)$$

Для перехода к одному аргументу продифференцируем обе части уравнения по (S) — $\frac{d}{dS}$.

После преобразований получим:

$$\frac{d^2\theta}{dS^2} = -\frac{F}{EJ} \sin \theta. \quad (5)$$

К обоснованию формулы изогнутой оси Y вертикального стержня. Расчет на устойчивость. Расчетная схема стержня представлена на рис. 3.

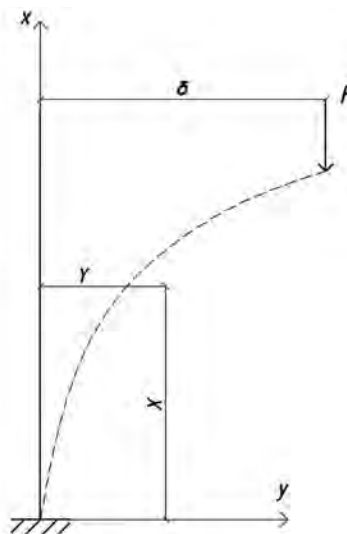


Рис. 3. Расчетная схема стержня.

Дифференциальное уравнение изогнутой оси:

$$EJ \frac{d^2 Y}{dx^2} = -M_x, \quad M_x = -F(\delta - Y)$$

или

$$\frac{d^2 Y}{dx^2} + K^2 Y = -F\delta, \quad (6)$$

где

$$K^2 = \frac{F}{EJ}. \quad (7)$$

Решением (6) является функция

$$Y = A \cos Kx + B \sin Kx + \delta. \quad (8)$$

Постоянные A и B найдем из граничных условий.

$$\text{При } x = 0, Y = 0, \quad \frac{dY}{dx} = 0,$$

$$A + \delta = 0, \quad A = -\delta, \quad B = 0, \quad \frac{dY}{dx} = -K \cdot A \sin Kx + K \cdot B \cos Kx.$$

Таким образом

$$Y = \delta(1 - \cos Kx). \quad (9)$$

Здесь δ — величина неизвестная, а для оценки устойчивости 2-го рода ее необходимо знать.

Для нахождения δ изобразим деформированный вид стержня и учтем точное дифференциальное уравнение изогнутой оси.

На рис. 4 сила $F > F_{кр}$, но равновесие соблюдается. Точное дифференциальное уравнение упругой кривой:

$$EJ \frac{d\theta}{dS} = -FY, \quad (10)$$

где S — длина кривой; θ — угол между касательной к кривой и вертикалью;

$\frac{d\theta}{dS}$ — точное выражение кривизны стержня в сечении $m — n$.

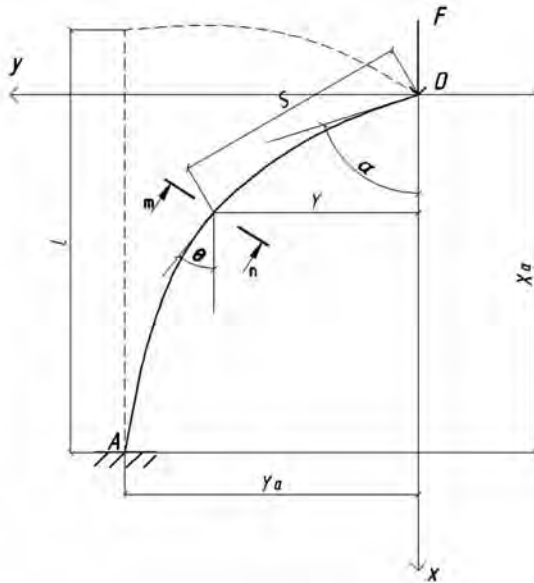


Рис. 4. Деформированный вид стержня

Продифференцируем по S выражение (10):

$$EJ \frac{d^2\theta}{dS^2} = -F \frac{dY}{dS}.$$

Выделим бесконечно малый элемент из деформированного стержня (рис. 5).

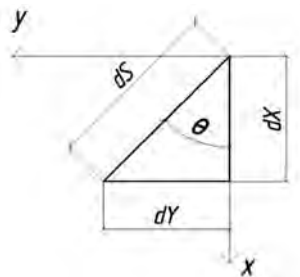


Рис. 5. Бесконечно малый элемент из деформированного стержня

Из рис. 5 видно, что $\frac{dY}{dS} = \sin \theta$. Подставим это в предыдущее дифференциальное уравнение и введем обозначение:

$$K = \sqrt{\frac{F}{EJ}}, \quad (11)$$

при этом

$$\frac{d^2\theta}{dS^2} + K^2 \sin \theta = 0. \quad (12)$$

Уравнение (13) однородное, нелинейное второго порядка. При малых значениях угла θ (в пределах $0 \leq \theta \leq 20^\circ$) $\sin \theta \approx \theta$, и задачу можно решать как линейную.

Дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2\theta}{dS^2} + K^2 \theta = 0, \quad (13)$$

решением которого является:

$$\theta = A \cos KS + B \sin KS. \quad (14)$$

Задача в нелинейной постановке.

Упростить дифференциальное уравнение (13) можно, если умножить уравнение на $\frac{d\theta}{dS}$. Тогда получим:

$$\frac{d\theta}{dS} \frac{d^2\theta}{dS^2} + \frac{d\theta}{dS} K^2 \sin \theta = 0. \quad (15)$$

Выражение (15) с помощью правила дифференцирования сложной функции (произведения) можно записать в следующем виде:

$$\frac{d\theta}{dS} \frac{d^2\theta}{dS^2} + \frac{d\theta}{dS} K^2 \sin \theta = \frac{d}{dS} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{d\theta}{dS} \right)^2 - K^2 \cos \theta \right]. \quad (16)$$

Интегрируя (16), получим дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\left(\frac{d\theta}{dS} \right)^2 - 2K^2 \cos \theta = C, \quad (17)$$

где C — постоянная интегрирования.

Кривизна $\frac{d\theta}{dS} = 0$ и $\theta = \alpha$ в начале координат. Тогда $C = -2K^2 \cos \alpha$, с учетом этого (17) запишется в следующем виде:

$$\left(\frac{d\theta}{dS} \right)^2 = 2K^2 (\cos \theta - \cos \alpha). \quad (18)$$

Найдем длину стержня из (18):

$$dS = \frac{d\theta}{K\sqrt{2}\sqrt{\cos\theta - \cos\alpha}}. \quad (19)$$

Применяя тригонометрическую формулу двойного угла $\cos\theta = 1 - 2\sin^2 \frac{\theta}{2}$,

преобразуем (19):

$$dS = \frac{d\theta}{2K\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2}}}.$$

Окончательная длина стержня получится интегрированием:

$$l = \frac{1}{2K} \int_0^\alpha \frac{d\theta}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2}}}. \quad (20)$$

Упростим интеграл (20), для чего введем обозначение $p = \sin \frac{\alpha}{2}$ и новую переменную φ , так что

$$\sin \frac{\theta}{2} = p \sin \varphi = \sin \frac{\alpha}{2} \sin \varphi. \quad (21)$$

Исследуем (21). Из рис. 2 видно, что, когда θ меняется от 0 до α , $\sin \varphi$ меняется от 0 до 1, а φ от 0 до $\frac{\pi}{2}$. Исходя из выражения (21), продифференцируем выражение:

$$d\left(\sin \frac{\theta}{2}\right) = \cos \frac{\theta}{2} d\left(\frac{\theta}{2}\right) = \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\theta}{2}} d\left(\frac{\theta}{2}\right),$$

$$d(p \sin \varphi) = p \cos \varphi d\varphi.$$

Тогда, приравнявая $\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\theta}{2}} \frac{d\theta}{2} = p \cos \varphi d\varphi$, получим:

$$d\theta = \frac{2p \cos \varphi d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\theta}{2}}} = \frac{2p \cos \varphi d\varphi}{\sqrt{1 - p^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (22)$$

Подставляя (22) в (16), получим после преобразования по (21):

$$l = \frac{1}{K} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - p^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (23)$$

Интеграл (23) — полный эллиптический интеграл 1-го рода [5].

Задаваясь величиной p по справочным таблицам, находим значение интеграла. По таблицам для каждого значения угла α у вершины стержня (см. рис. 2) получаем соответствующее значение K и по нему значение нагрузки F .

Вычислим прогибы. Из рис. 3:

$$dY = dS \sin \theta = -\frac{\sin \theta d\theta}{K\sqrt{2}\sqrt{\cos \theta - \cos \alpha}}. \quad (24)$$

Используя преобразования через половинные углы, найдем после интегрирования (24) следующее:

$$Y_a = \frac{1}{2K} \int_0^{\alpha} \frac{\sin \theta d\theta}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\theta}{2}}}. \quad (25)$$

Из (21) найдем $\sin \theta$:

$$\sin \theta = 2p \sin \varphi \sqrt{1 - p^2 \sin^2 \varphi}.$$

Подставляя полученные значения $\sin \theta$ в (25), получим:

$$Y_a = \frac{2p}{K} \int_0^{\pi/2} \sin \varphi d\varphi = \frac{2p}{K}. \quad (26)$$

Следовательно, $Y_a = \frac{2p}{K}$ — полное отклонение верха стержня при потере устойчивости 2-го рода.

Таким образом, при $p = \sin \frac{\alpha}{2} = 0$ эллиптический интеграл равен 1,5708.

Тогда

$$l = \frac{1}{K} \int_0^{0,5\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - p^2 \sin^2 \varphi}} = 1,5708 \sqrt{\frac{EI}{F}}. \quad (27)$$

Откуда

$$F = 2,4674 \frac{EI}{l^2}. \quad (28)$$

Сравним с формулой, полученной в сопротивлении материалов:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(2l)^2} = 2,4649 \frac{EI}{l^2},$$

что совпадает с полученным результатом. Но можно сделать вывод, что при $F = F_{кр}$ продольного изгиба еще нет.

Отклонение от вертикали будет иметь место при превышении $\frac{F}{F_{кр}} = \frac{2,4674}{2,4649} = 1,001$ на 0,1 % критической нагрузки.

Вторая часть позволяет определить отклонения упругого стержня высокой гибкости в одном направлении (табл.).

Результаты расчета

№	α	$\frac{\alpha}{2}$	$P = \sin \frac{\alpha}{2}$	$F \cdot EI / l^2$	K	$Y_a = 2P / K$	$P / P_{кр}$	$\Delta l = 2l(1 - \frac{F}{F_3})$
1	0	0	0	2,46741264	1,5708	0	1	-0,002038736
2	2	1	0,017452	2,46772681	1,5709	0,0222191	1,000127	-0,002293651
3	12	6	0,104529	2,48094001	1,5751	0,1327268	1,005482	-0,013014735
4	22	11	0,190809	2,51349316	1,5854	0,2407077	1,018676	-0,039428099
5	32	16	0,275637	2,566404	1,6020	0,3441161	1,040119	-0,082359528
6	42	21	0,358368	2,64127504	1,6252	0,441014	1,070463	-0,143109286
7	52	26	0,438371	2,74134249	1,6557	0,5295295	1,111019	-0,224303209
8	62	31	0,515038	2,86997481	1,6941	0,6080373	1,163152	-0,328674437
9	72	36	0,587785	3,03282225	1,7415	0,675033	1,229151	-0,460807538
10	82	41	0,656059	3,23712064	1,7992	0,7292786	1,311949	-0,626573605
11	88	44	0,694658	3,38412816	1,8396	0,7552272	1,371529	-0,745854323

Чтобы построить график отклонения стержня от вертикали (рис. 6), необходимо вычислить отклонение по оси X . Для этого необходимо вычислить X_a по формуле

$$X_a = l - \Delta l, \quad (29)$$

где $\Delta l = 2l \left(1 - \frac{F}{F_3} \right)$ — уменьшение длины стержня; $F_3 = \frac{\pi^2 EI}{4l^2}$ — сила, полученная для линейного расчета.

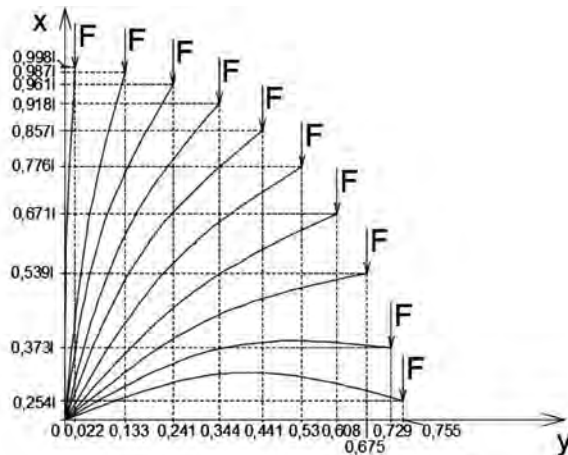


Рис. 6. График отклонения стержня от вертикали

Подобные исследования носят теоретический характер. Однако первая часть исследования позволяет определить критическую силу $F_{кр}$ и отклонения, вторая часть — определить отклонения упругого стержня высокой гибкости в одном направлении.

Полученный упрощенный метод расчета на устойчивость можно применять в инженерных расчетах для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния и потери устойчивости; кроме того, возможно применять этот метод для экспресс-проверки предложенного решения какой-либо задачи.

В результате проделанной работы была определена критическая сила $F_{кр}$, а также отклонения упругого стержня высокой гибкости в одном направлении. Получено уравнение изогнутой оси сжато-изогнутого стержня в криволинейных координатах.

Получен упрощенный метод расчета на устойчивость, который можно применять в инженерных расчетах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bernoulli J.* Curvatura laminai elasticae // Acta Eruditorum. Lipsiae, 1694. Pp. 262 — 276.
2. *Bernoulli J.* Veritable hypothese de la resistance des solides avec la demonstration de la courbure des corps qui font ressort // Histoire de L, Academie des sciences de Paris, 1705. Pp. 176—186.
3. *Bernoulli D.* De vibrationibus et sono laminarum elasticarum commentationes physico-geometricae // Commentari Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. T. 13. Petropoli, 1751. Pp. 105—120.
4. *Вольмир А. С.* Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967.
5. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике. изд. 3-е. М.: Гостехиздат, 1953. С. 80.

© Карасев Г. М., Бардыкова А. А., Штадлер В. В., 2018

Поступила в редакцию
в декабре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Карасев Г. М., Бардыкова А. А., Штадлер В. В. Вычисление перемещений конца стержня при нагрузках, превышающих критические значения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 67—77.

Об авторах:

Карасев Георгий Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, gmk40@gmail.ru

Бардыкова Анастасия Александровна — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, b.a.a214@mail.ru

Штадлер Владимир Викторович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, vladimir-shtadler@yandex.ru

G. M. Karasev, A. A. Bardykova, V. V. Shtadler

CALCULATION OF SHIFTS OF ROD END AT LOADS EXCEEDING CRITICAL VALUES

The equation of a bent axis of a beam-column rod in curvilinear coordinates is received. Bend diagrams at various force ratios are plotted for a rod with unlimited flexibility. As a result of the conducted research the critical force and deflection of the top of an elastic rod of high flexibility in one direction was determined.

Key words: rod, high-rise building, tower, loss of stability, critical force, shift, deflection moment, differential equation, fluctuations, flexibility.

For citation:

Karasev G. M., Bardykova A. A., Stadler V. V. [Calculation of shifts of rod end at loads exceeding critical values]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 67—77.

About authors:

Karasev Georgii Mikhailovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, gmk40@gmail.ru

Bardykova Anastasiya Aleksandrovna — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, b.a.a214@mail.ru

Shtadler Vladimir Viktorovich — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, shtadler@yandex.ru

УДК 691.5

В. И. Логанина, С. Н. Кислицына, Е. Б. Мажитов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

СВОЙСТВА ПОЛИСИЛИКАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНЫХ КРАСОК

Приведены сведения о составе полисиликатных растворов, полученных смешиванием жидкого стекла и золя кремниевой кислоты. Установлено, что введение золя приводит к повышению силикатного модуля и способствует увеличению доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов (ККА). Показано, что покрытия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. Выявлена корреляционная зависимость между содержанием высокополимерных фракций кремнекислородных анионов в полисиликатном растворе и прочностью при растяжении пленок, заключающаяся в том, что при увеличении содержания γ -SiO₂ наблюдается увеличение прочности при растяжении пленок.

Ключевые слова: силикатные краски, золь кремниевой кислоты, полисиликатные растворы, кинетика отверждения, прочность при растяжении.

В практике отделочных работ хорошо зарекомендовали себя силикатные краски, представляющие собой суспензию пигментов и наполнителей в калиевом жидком стекле [1—3]. С целью повышения эксплуатационных свойств покрытий на основе силикатных красок актуальной является разработка способов модификации жидкого стекла. Анализ патентной и научно-технической литературы показывает, что одним из способов модификации является введение в состав связующего кремнийорганических соединений [4—6]. Представляет интерес применение в качестве пленкообразователей силикатных красок полисиликатов, которые обеспечивают более высокие эксплуатационные свойства покрытий [7—9].

В работе полисиликатные растворы получали путем взаимодействия стабилизированных растворов коллоидного кремнезема (золей) с водными растворами щелочных силикатов (жидкими стеклами) [10]. Применяли золь кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемой ПК «Промстеклоцентр». Применяли натриевое жидкое стекло с модулем $M = 2,78$, калиевое жидкое стекло с модулем $M = 3,29$.

Для изучения структуры жидких стекол применяли молибдатный метод, основанный на различной скорости взаимодействия мономерных, олигомерных и полимерных кремнекислородных анионов (ККА) с молибденовой кислотой [11—13]. Результаты исследований приведены на рис. 1.

Установлено, что введение золя (повышение силикатного модуля) способствует увеличению доли высокополимерных фракций ККА, причем с увеличением содержания золя доля полимерной формы кремнезема возрастает. Так, при добавлении золя кремниевой кислоты Nanosil 20 в количестве 5 % от массы натриевого жидкого стекла увеличивается содержание полимерной формы кремнезема γ -SiO₂ до 5,345 %, в количестве 15 % — до 12,04 %, в то время как в контрольном составе (без добавки золя) — 2,783 %. В калиевом полисиликатном растворе содержание полимерной формы кремнезема γ -SiO₂ составляет 19,93 % при содержании золя 15 %.

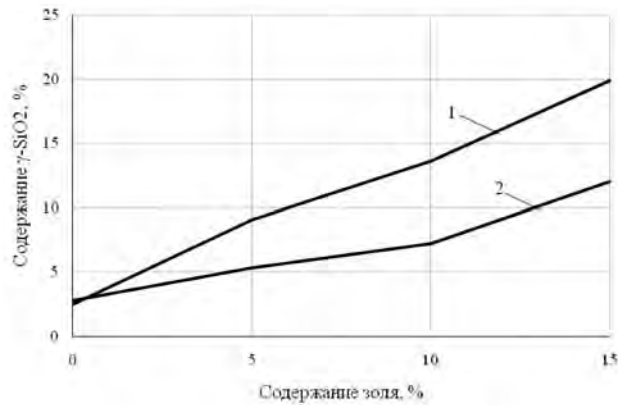


Рис. 1. Изменение состава полисиликатных растворов с содержанием золя кремниевой кислоты Nanosil 20: 1 — калиевый полисиликатный раствор; 2 — натриевый полисиликатный раствор

Покрyтия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. На рис. 2 показана кинетика отверждения покpытия, которая характеризуется изменением относительной твердости. В возрасте 24 ч относительная твердость пленки на основе контрольного состава (без золя) составляет 0,28, а с добавлением золя Nanosil 20 в количестве 5; 10 и 15 % от массы жидкого стекла составляет 0,38; 0,43 и 0,47 соответственно. Процесс отверждения заканчивается спустя 7 сут.

Установлено, что пленки на основе полисиликатных растворов обладают более высокой прочностью при растяжении по сравнению с пленками на основе жидких стекол [14]. При содержании в калиевом полисиликатном растворе золя кремниевой кислоты Nanosil 20 в количестве 15 % пленки на его основе обладают прочностью при растяжении, составляющей 1,1345 МПа, в то время как прочность при растяжении пленок на основе калиевого жидкого стекла равна 0,392 МПа. Для пленок на основе жидкого стекла характерен хрупкий характер разрушения, а для пленок на основе полисиликатного раствора — упруго-пластический.

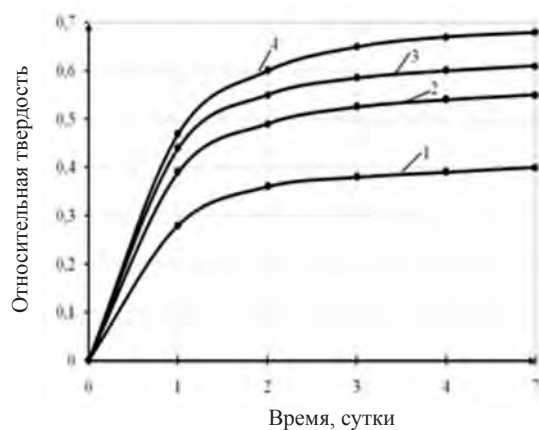


Рис. 2. Кинетика изменения относительной твердости пленок на основе полисиликатных растворов: 1 — калиевое жидкое стекло; 2 — калиевое жидкое стекло + 5 % Nanosil 20; 3 — калиевое жидкое стекло + 10 % Nanosil 20; 4 — калиевое жидкое стекло + 15 % Nanosil 20

Установлено, что между содержанием γ -SiO₂ в полисиликатном растворе и прочностью при растяжении пленок существует корреляционная зависимость, заключающаяся в том, что при увеличении содержания кремнезема в полимерной форме γ -SiO₂ наблюдается увеличение прочности при растяжении пленок (рис. 3).

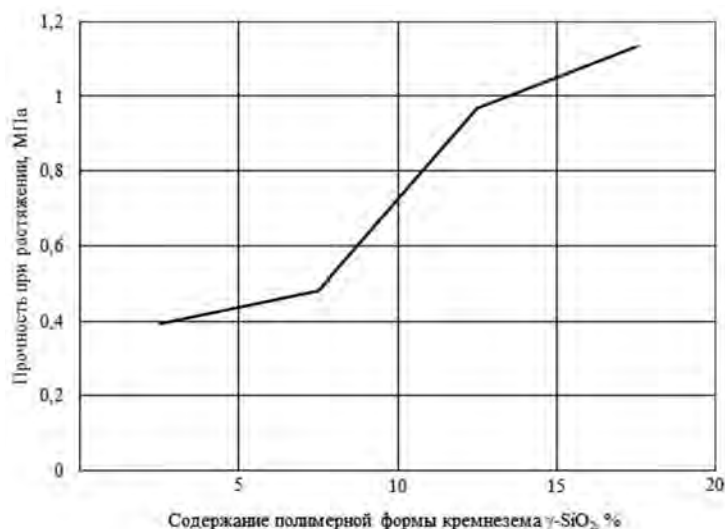


Рис. 3. Зависимость прочности при растяжении пленок на основе калиевого полисиликатного раствора от содержания кремниевой кислоты в полимерной форме γ -SiO₂

Полисиликатные растворы были применены при разработке рецептуры силикатных красок [15]. В качестве наполнителя применяли микрокальцит марки МК-2 (ТУ 5743-001-91892010-2011) и тальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284-79), в качестве пигмента — диоксид титана 230 рутильной формы (ТУ 2321-001-1754-7702-2014).

Была рассчитана оптимальная степень наполнения. Установлено, что значения критической объемной концентрации пигмента (наполнителя) (КОКП) при применении полисиликатного раствора меньше по сравнению с жидким стеклом. Так, значения КОКП (пигмент TiO₂ + микрокальцит + тальк) составляют у жидкого стекла 0,53, у полисиликатного раствора 0,46.

Разработана рецептура состава, предназначенного для отделки наружных фасадов и внутренних стен зданий. Вязкость красочных составов составляет 17...20 с по ВЗ-4, степень высыхания до степени 5 — 70...90 мин, адгезия к растворной подложке — 1 балл, смываемость — не более 2 г/м². Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Стойкость к статическому действию воды при температуре 20 °С составляет не менее 24 ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климанова Е. А., Барцевский Ю. А., Жилкин И. Я. Силикатные краски. М.: Стройиздат, 1968. 86 с.
2. Корнеев В. И., Данилов В. В. Производство и применение растворимого стекла. Л.: Стройиздат, 1991. 176 с.

3. Агафонов Г. И., Безгузикова И. А., Ицко Э. Ф. Силикатные лакокрасочные материалы. М.: НИИТЭхим, 1989. 44 с.
4. Способ модификации жидкого стекла: пат. 2446100 Рос. Федерация: МПКС01В33/32 / Емельянова О. Н. и др.; № 2010117936/05; заявл. 06.05.2010; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.
5. Силикатная краска: пат. 2007430 Рос. Федерация: МПК С09D1/04 / Матвеев Л. Г. и др.; № 91 5008196; заявл. 05.08.1991; опубл. 15.02.1994, Бюл. 19.
6. Силикатная краска: а. с. 767154 СССР: МПК С091/04 / Пужанов Г. Т. и др.; № 2526603/23-05; заявл. 07.06.1977; опубл. 30.09.80, Бюл. 36.
7. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured binder for acid-resisting building materials // J. Scientific Israel-Technological Advantages. 2012. Vol. 14. No. 1. Pp. 7—12.
8. Фиговский О. Л., Кудрявцев П. Г. Жидкое стекло и водные растворы силикатов как перспективная основа технологических процессов получения новых наноконпозиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2012. Т. 4. № 3. С. 6—21.
9. Получение и применение гидрозоль кремнезема / Под ред. Ю. Г. Фролова. М.: Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1979.
10. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2-х т. М.: Мир, 1982.
11. РД 52.24.433-2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. МВИ фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислотой. ГУ ГХИ, 2005. 13 с.
12. ПНД Ф 14.1:2.4.215-06. Методика измерений массовой концентрации кремнекислоты (в пересчете на кремний) в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом в виде желтой кремнемолибденовой гетерополикислоты. СПб.: Центр исследования и контроля воды, 2006. 10 с.
13. Grasshoff K. On the determination of silica in sea water // Deep-Sea Res. 1964. Vol. 11. No. 4. Pp. 74—81.
14. Санжаровский А. Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1978. 183 с.
15. Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б. Разработка рецептуры золь-силикатной краски // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 3. С. 51—53.

© Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б. Свойства полисиликатных связующих для золь-силикатных красок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 78—82.

Об авторах:

Логанина Валентина Ивановна — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и технологии строительного производства, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, loganin@mail.ru

Кислицына Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительных материалов и деревообработки, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, kislitsyna_sn@mail.ru

Мажитов Еркебулан Бисенгалиевич — аспирант кафедры управления качеством и технологии строительного производства, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, mazhitov201090@gmail

V. I. Loganina, S. N. Kislitsyna, E. B. Mazhitov

PROPERTIES OF POLYSILICATE BINDERS FOR SOL-SILICATE PAINTS

The article provides the information on the composition of polysilicate solutions obtained by mixing liquid glass and silica sol. It was found that the introduction of sol leads to an increase in the silicate module and contributes to an increase in the share of high-polymer fractions of silicon-oxygen

anions. It is shown that coatings based on polysilicate solutions are characterized by faster curing. The correlation between the content of high-polymer fractions of silicic anions in a polysilicate solution and the tensile strength of films was found. It means that an increase in $\gamma\text{-SiO}_2$ content causes an increase in the tensile strength of films.

Key words: silicate paints, silica sol, polysilicate solutions, kinetics of curing, tensile strength.

For citation:

Loganina V. I., Kislitsyna S. N., Mazhitov E. B. [Properties of polysilicate binders for sol-silicate paints]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 78—82.

About authors:

Loganina Valentina Ivanovna — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Quality Management and Technology of Building Production Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering. 28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russian Federation, loganin@mail.ru

Kislitsyna Svetlana Nikolaevna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Materials Technology and Woodwork Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering. 28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russian Federation, kislitsyna_sn@mail.ru

Mazhitov Erkebulan Bisengalievich — Postgraduate student of Quality Management and Technology of Building Production Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering. 28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russian Federation, mazhitov201090@gmail.com

УДК 625.711.4

М. М. Девятов^а, А. С. Любченко^а, С. А. Моисеенко^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *ООО «ПИИ ВолгаГражданПроект»*

ФОРМИРОВАНИЕ ВЕЛОСИПЕДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В г. ВОЛГОГРАДЕ

Обозначена актуальность темы развития велосипедной инфраструктуры в г. Волгограде. Представлена статистика ДТП с участием велосипедистов, в том числе по районам города; дана схема пилотных проектов велодорожек. Рассматривается вопрос выбора форм велосипедного движения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: велосипедные дорожки, велодвижение, велостоянки, велопарад.

Преимуществами использования велосипедного транспорта достаточно давно пользуются в Европе и ряде других стран¹². Среди этих преимуществ — экономия (отсутствие затрат горючего, стоимость транспортного средства и его обслуживания), отсутствие отрицательного воздействия на окружающую среду, польза для здоровья, решение проблем пробок и парковки, возможность развития велотуризма. В России повышение интереса к велосипедному движению наблюдается лишь в течение последних 15—20 лет. В Волгограде движению велосипедистов и формированию дорожной инфраструктуры активное внимание уделяется последние 5—10 лет.

Инициаторами формирования велосипедной инфраструктуры города выступают общественные организации. Волгоградское велодвижение образовано в 2012 г. Оно является частью всероссийского движения Let's bike it! и в настоящий момент насчитывает порядка 2000 человек³. Коммуникация участников движения ведется главным образом через социальные сети. Участники велодвижения в Волгограде регулярно организуют массовые выезды на улицы — велопаралы (рис. 1), активно привлекают представителей власти к участию в них.



Рис. 1. Велопарад, стартующий на площади Павших Борцов в г. Волгограде

¹ URL: <https://planetseed.com/ru/node>.

² URL: <https://www.fahr-radwege.com/startseite.htm>

³ URL: <https://vk.com/velgoograd>

Основные задачи, которые ставят перед собой организаторы велопарадов:
популяризация велосипеда не только как средства детского развлечения,
но и как части быта взрослого человека;
получение специальных стоянок;
устройство велодорожек;
уважение на дорогах.

С целью популяризации велотранспорта в Волгограде проводятся также соревновательные заезды велосипедистов (рис. 2).



Рис. 2. Заезд велосипедистов на Центральной набережной

К популяризации велотранспорта активно привлекаются средства массовой информации и операторы мобильной связи, которые участвуют в создании системы парковок для велосипедистов. Так, возле главного входа Института архитектуры и строительства ВолгГТУ при содействии компании «Билайн» появилась новая стоянка для велосипедов (рис. 3).



Рис. 3. Велостоянка при ИАиС ВолгГТУ

Для подготовки детей к движению на велосипедах в городской среде в школах систематически ведутся занятия с детьми (рис. 4), которые организует Инспекция по безопасности дорожного движения совместно с админи-

страцией города и Отделом по пропаганде безопасности дорожного движения ВолгГТУ, а также с 1994 г. проводится конкурс «Безопасное колесо», в котором участвуют все школы города.



Рис. 4. Организация мероприятий по безопасному движению на велосипедах для детей

Так велодвижение в России становится более массовым [1, 2]. Но, к сожалению, на данный момент велосипед в России — это не средство передвижения, а в большинстве случаев развлечение или хобби. Это происходит по ряду причин:

отсутствие хорошо организованной системы велосипедных трасс и дорожек;
климат на большей территории России не позволяет пользоваться велосипедом круглогодично;

достаточно большие расстояния, которые необходимо преодолевать в повседневной жизни (путь от работы до дома).

Тем не менее велосипедистов все чаще можно встретить на улицах города. Так, на магистралях центральной части города в теплый период года интенсивность движения велосипедистов в составе транспортных потоков достигала 20...25 вел./ч.

На увеличивающийся интерес к использованию велосипедного транспорта указывает и ежегодный рост продаж велосипедов в Волгограде: за последние 4—5 лет он составляет 10...15 % ежегодно.

С ростом интенсивности велосипедного движения начала наблюдаться аварийность на дорогах с участием велосипедистов. С 2013 г. Инспекция безопасности дорожного движения г. Волгограда начала учет и анализ статистики таких ДТП. Статистика ГИБДД МВД по Волгограду показывает, что количество ДТП с участием велосипедистов растет: за последние 5 лет жертвами аварий стали 5 велосипедистов, 70 человек пострадали (рис. 5, 6).

Возрастающее количество ДТП с участием велосипедистов и постоянно увеличивающийся спрос на велосипедный транспорт, активная позиция горожан создают предпосылки к формированию велосипедной инфраструктуры в Волгограде.

С 2014 г. администрация города по инициативе общественных организаций и Волгоградской городской думы приступила к разработке концепции организации велосипедного движения в Волгограде.

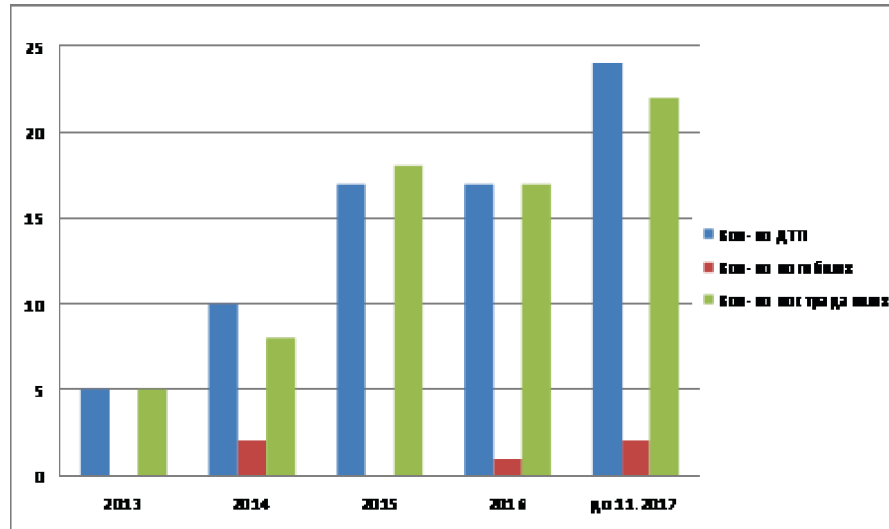


Рис. 5. Количество ДТП с участием велосипедистов, число жертв и пострадавших

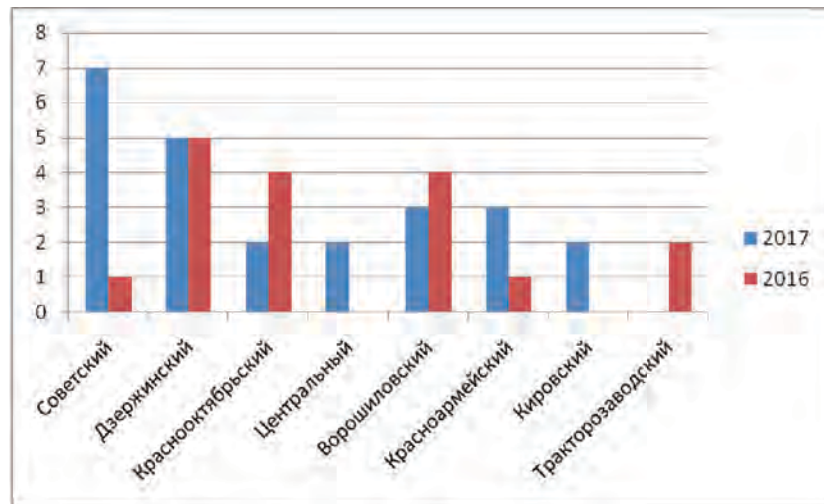


Рис. 6. Количество ДТП с участием велосипедистов по районам г. Волгограда

Была запланирована первая очередь проектирования велосипедных маршрутов на существующей улично-дорожной сети протяженностью в 25 км (маршрут № 1 — 2,8 км, маршрут № 2 — 6,9 км, маршрут № 3 — 4,8 км) (рис. 7). Около 10 км пройдут в парках города. Также планируется строительство велодорожки в составе Нулевой продольной магистрали.

Первая велодорожка по маршруту № 1 (ресторан «Маяк» — ул. им. 7-й Гвардейской Дивизии) уже появилась на набережной Волгограда и активно используется велосипедистами (рис. 8). Также разрабатывается отдельная сеть велодорожек в жилом комплексе «Родниковая долина».

Однако, как отмечают проектировщики, при планировании велосипедных дорожек возникает проблема выбора способа ее устройства, а также утверждения ее габаритов. Это происходит оттого, что, хоть в действующих норматив-

ных документах и оговариваются общие правила устройства велодорожек⁴, в условиях существующей застройки бывает невозможно их реализовать.

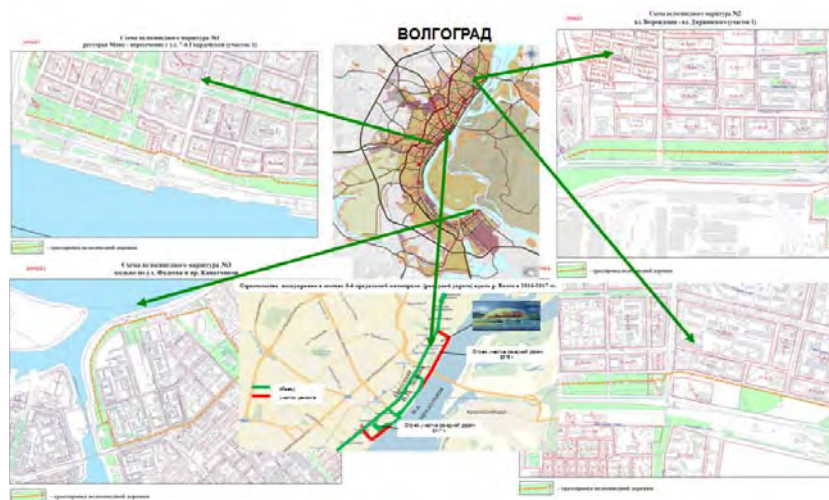


Рис. 7. Существующая и планируемые велодорожки в г. Волгограде



Рис. 8. Велодорожка на набережной г. Волгограда

Также интересен зарубежный опыт в вопросах устройства велодорожек. Например, в Германии используется следующая схема (рис. 9) для выбора форм организации движения велосипедного транспорта⁵.

⁴ ГОСТ 33150-2014. Проектирование велосипедных и пешеходных дорожек.

СП 42.13330-2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*.

СП 59.13330.2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.

⁵ Empfehlungen für Radverkehrsanlagen [FGSV-Nr. 284/96 Seiten/A4/ISBN 978-3-941790-63-6]. URL: http://www.bast.de/DE/Home/home_node.html



Рис. 9. График для предварительного выбора форм организации движения велосипедного транспорта, рекомендуемый нормативным документом по проектированию велодорожек в Германии [3]

Для проверки возможности применения данной схемы при выборе форм движения велосипедистов в Волгограде были произведены замеры скоростей и интенсивности движения автомобилей на центральных улицах города [3]. На рис. 10 представлен пример обработки полученных данных на точке замера — остановке «Современник» (пересечение проспекта В. И. Ленина и улицы Краснознаменной) с помощью закона распределения Вейбулла.

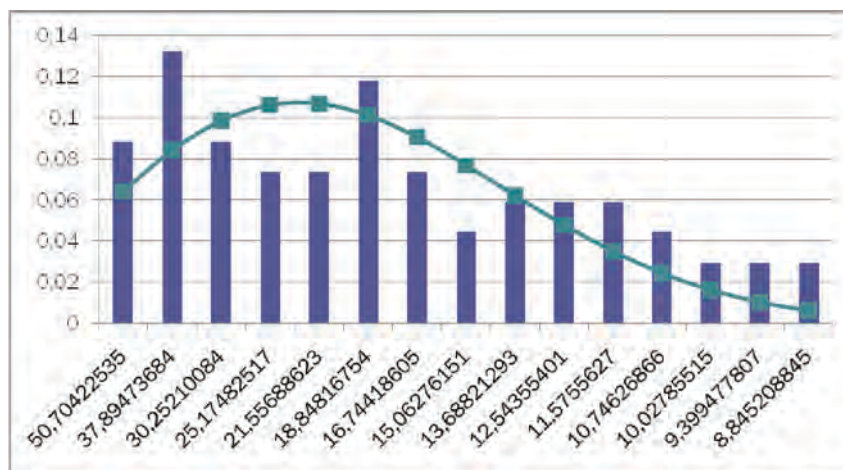


Рис. 10. График распределения скоростей движения автомобилей на точке замера (остановка «Современник») и аппроксимация законом распределения Вейбулла

В соответствии с графиком для предварительного выбора форм организации движения велосипедного транспорта (см. рис. 9) получена следующая рекомендуемая форма устройства велосипедного движения — смешанное движение с автомобилями на проезжей части (рис. 11).



Рис. 11. График выбора форм организации движения велосипедного транспорта для точки замера (остановка «Современник»)

Подобные исследования были проведены также и для других точек — ул. 39-й Гвардейской Дивизии, Ворошиловский торговый центр, остановка «Баррикады». Результаты представлены на рис. 12.

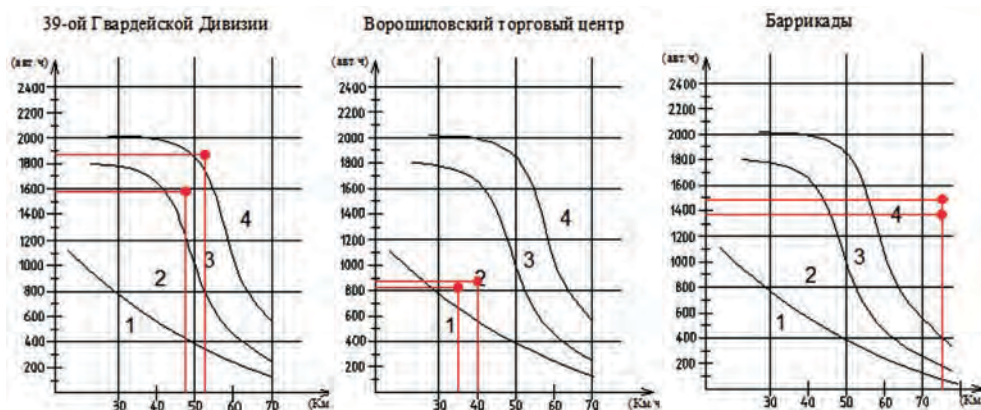


Рис. 12. Графики выбора форм организации движения велосипедного транспорта для точек замера — ул. 39-й Гвардейской Дивизии, Ворошиловский торговый центр, остановка «Баррикады»)

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Анализ состояния велосипедного движения в Волгограде показывает, что оно большей частью базируется на общественных организациях. Эти организации объединяют активную часть населения, в основном молодежь, продвигающую идеи развития велосипедного движения.

2. Количество велосипедистов в Волгограде последние пять лет растет на 10...15 % ежегодно. Рост ДТП с участием велосипедистов за последние 5 лет увеличился более чем в четыре раза.

3. Формирование сети велосипедных дорожек в Волгограде находится на начальном этапе.

4. Необходим переход на системную, научно обоснованную работу по развитию велосипедного движения. Для этого в Волгограде целесообразно разработать соответствующую концепцию и внести коррективы в Генеральный план развития Волгограда до 2025 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новизенцев В. В., Арсентьева С. В. Обеспечение безопасности организации движения велосипедистов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. № 1. С. 3—6.
2. Любченко А. С., Кубраков Е. С. Проблемы и перспективы строительства велосипедных дорожек в России // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 2. С. 270—275.
3. Любченко А. С., Филатов И. С., Кубраков Е. С. Обоснование возможности и целесообразности строительства велосипедных дорожек в России / Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы VII междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград: ВолгАСУ, 2013. С. 83—89.

© Девятков М. М., Любченко А. С., Моисеенко С. А., 2018

Поступила в редакцию
в декабре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Девятков М. М., Любченко А. С., Моисеенко С. А. Формирование велосипедной инфраструктуры в г. Волгограде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 83—91.

Об авторах:

Девятков Михаил Михайлович — канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, devyatov.50@mail.ru

Любченко Анна Степановна — канд. техн. наук, доцент кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, lubchenko_ann@mail.ru

Моисеенко Сергей Александрович — главный инженер проекта Отдела дорожного проектирования, ООО «ПИИ ВолгаГражданПроект». Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Республиканская, 12, moiseenkos94@mail.ru

M. M. Devyatov, A. S. Lyubchenko, S. A. Moiseenko

CYCLE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN VOLGOGRAD

The significance of cycle infrastructure development in Volgograd is defined. The statistics of road accidents with the involvement of cyclists, including city districts statistics is presented; the scheme of pilot projects of cycle lanes is given. The issue of the choice of cycle traffic forms is considered in the article.

Key words: cycle lanes, cycle traffic, bike parking, bike parade.

For citation:

Devyatov M. M., Lyubchenko A. S., Moiseenko S. A. [Cycle infrastructure development 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], 2018, iss. 51(70), pp. 83—91.

About authors:

Devyatov Mikhail Mikhailovich — Candidate of Engineering Sciences, Professor, the Head of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, devyatov.50@mail.ru

Lyubchenko Anna Stepanovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, lubchenko_ann@mail.ru

Moiseenko Sergei Aleksandrovich — Chief Engineer of the project of Highway Design Department, OOO "PII VolgaGrazhdanProekt". 12, Respublikanskaya St., Volgograd, 400075, Russian Federation, moiseenkos94@mail.ru

УДК 725.711.2:625.731.2

Д. А. Скоробогатченко, Г. Д. Засорина

Волгоградский государственный технический университет

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕЗЖАЕМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ДОРОГ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕУПЛОТНЕННЫХ ГРУНТОВ,
АРМИРОВАННЫХ ОТХОДАМИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассматривается проблема повышения проезжаемости автомобильных дорог сельскохозяйственного назначения на основе применения переуплотненных грунтов, армированных стеблями злаковых культур. Математическое планирование эксперимента представлено аппроксимацией практических испытаний образцов на прочность при сжатии и изгибе нелинейными зависимостями. На основе совместного графического решения математических зависимостей относительно прочности на сжатие и изгиб даются рекомендации по оптимальному соотношению «грунт — стебли злаковых» для трех типов дисперсных грунтов, применяемых в дорожном строительстве. Отмечается, что оптимизированный таким образом состав грунта обеспечивает повышенную проезжаемости дорог сельскохозяйственного назначения при соблюдении требуемой прочности.

Ключевые слова: переуплотненный грунт, автомобильные дороги сельскохозяйственного назначения, укрепление грунта стеблями злаковых.

Введение. В качестве одной из причин снижения эффективности агропромышленного комплекса (АПК) специалисты называют значительные потери при транспортировке сельхозпродукции [1]. Данная ситуация обусловлена специфическими требованиями, предъявляемыми к сельскохозяйственным дорогам. С одной стороны, они должны обеспечивать проезжаемость, т. е. возможность проезда автомобилей разных типов с минимально допустимой скоростью в разные периоды года [2], с другой — их строительство и содержание не должны требовать значительных затрат [3]. Одним из решений, нацеленных на повышение производительности в АПК путем улучшения проезжаемости дорог сельскохозяйственного назначения, является применение специальных материалов и добавок при строительстве сельских дорог [4]. Отметим, что на значительной части территории России отсутствуют традиционные дорожно-строительные материалы — щебень, крупнозернистый песок и др. Поэтому для устройства дорожных одежд автомобильных дорог сельскохозяйственного назначения целесообразно применять местные материалы, в том числе глинистые грунты, преобладающие во многих регионах России. Для того чтобы их можно было использовать в дорожном строительстве, необходимо изменить их состав и произвести укрепление. В связи с этим при строительстве автомобильных дорог с низкой интенсивностью в качестве одного из основных направлений рекомендуется осуществление специальных мероприятий, направленных на обеспечение прочности, устойчивости и стабильности земляного полотна¹.

Таким образом, можно резюмировать, что в настоящее время особою актуальность представляет направление исследований, связанное с повышением

¹ СП 243.1326000.2015. Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения. М.: Минтранс РФ, 2015. 110 с.

эффективности перевозочного процесса в АПК на основе улучшения качества дорог низших категорий, преимущественно сельскохозяйственного назначения, на основе модификации состава и стабилизации структуры используемых при строительстве грунтов [5].

Критический анализ литературы. Общую классификацию стабилизаторов грунтов, применяемых при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог низших категорий сельскохозяйственного назначения, представим на рис. 1.

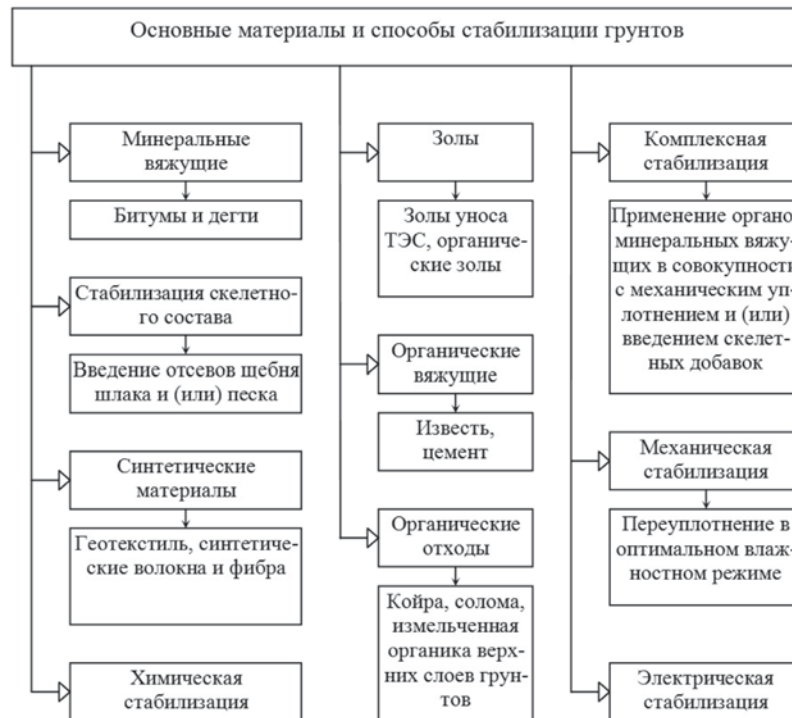


Рис. 1. Классификация основных стабилизаторов грунтов, применяемых при строительстве автомобильных дорог низших категорий в АПК

Отечественная нормативная классификация стабилизаторов грунтов приведена в ОДМ 218.1.004-2011². Очевидно, что стабилизацию грунтов в России осуществляют преимущественно органическими и минеральными вяжущими, а также комплексно. Обзор основных методов стабилизации грунтов, применяемых за рубежом, и в частности применение извести, цемента, химических компонентов, зол уноса, органических зол, битумов, термического и электрического воздействия, а также стабилизации геотекстилем и тканями, представлен в статье [6].

Для получения улучшенных свойств грунтов известен ряд отечественных экспериментов со скелетным составом грунта на основе добавления отсева песка, щебня [7—9] или зол уноса ТЭС³. Аналогичные работы проводятся и ино-

² ОДМ 218.1.004-2011. Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве. М.: Росавтодор, 2012. 15 с.

³ ВСН 185-75. Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог. М.: Минтрансстрой СССР, 1976. 44 с.

странными исследователями, в частности стабилизация глинистых грунтов дорог с низкой интенсивностью золой от сжигания каменного угля рассмотрена в работе [10]. Очевиден значительный экономический эффект от применения подобных проектных решений. Комплексная стабилизация грунтов для дорожного строительства золой, известью и цементом представлена в работе [11]. Установлено, что для дорожного строительства рекомендует использовать 7 % цемента, 5 % извести и 18 % золы.

Отдельно следует отметить весьма перспективное направление исследований, связанное с укреплением грунтовых оснований посредством использования связных грунтов с коэффициентом уплотнения 1,05 и выше. Известно, что глинистые грунты вызывают значительные проблемы при строительстве дорог [12]. Применение технологии переуплотнения позволяет существенно сократить затраты на устройство и содержание дорожной одежды [13] за счет препятствия капиллярному поднятию воды. Изучение механизма образования структурных связей в переуплотненном грунте основания позволяет прогнозировать прочностные характеристики конструкции дорожной одежды и энергетические затраты [14].

Применение органических отходов в нашей стране недостаточно распространено и, более того, ограничено [15]. Существует зарубежный аналог — патент по укреплению дорог и дорожных сооружений из дисперсных грунтов композитной смесью на основе биомассы растительного происхождения [16]. Автором доказано снижение поверхностного водопоглощения конструкции и увеличение ее прочностных свойств на 30...70 %.

Стабилизация грунтов органической золой в нашей стране не получила достаточного распространения. В то же время за рубежом этому достаточно дешевому и эффективному способу повышения прочности дорог сельскохозяйственного назначения посвящен целый спектр исследований. Так, в работе [17] приведены результаты укрепления грунтов золой банановых листьев при оптимальной доле золы до 4 % по массе. Похожие результаты получены при применении золы сахарного тростника [18] и земляных орехов [19]. Исследование применения злаковых вместе с золами и бентонитом для укрепления грунтов приведено в работе [20].

За рубежом широко представлено направление исследований, связанное со стабилизацией высокодисперсных грунтов в конструкциях дорожных одежд низших категорий с помощью сизалевого и кокосового волокна [21, 22]. Результаты показывают, что добавление койры (1...2 %) в качестве армирующего материала увеличивает как прочность, так и жесткость глинистых грунтов.

В России известно применение стеблей злаковых, в частности соломы, в конструкциях из глины [23]. Солома, армируя саманную конструкцию, улучшает прочность на изгиб, а скелетные добавки в виде песка и отсева щебня повышают прочностные характеристики материала. Иностранные авторы также сходятся во мнении, что в дорожных основаниях солома выполняет армирующую функцию, а известь (или другие стабилизаторы) используются для укрепления грунта и улучшения его химических свойств [24].

С одной стороны, применение соломы в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог низших категорий сельскохозяйственного назначения не препятствует севообороту и интенсивному развитию АПК, а с другой — по-

добное конструктивное решение отличается минимальной стоимостью в сравнении с альтернативными технологиями стабилизации грунтов. В то же время, как показывает предварительный анализ, укрепление дисперсного грунта соломой дает положительные результаты по улучшению проезжаемости благодаря армирующей функции соломенной фибры. Однако, несмотря на очевидные плюсы использования стеблей злаковых в конструкции дорожных одежд, в отечественной науке не достаточно изучены вопросы, связанные с оптимальным соотношением «соломенная фибра — дисперсный грунт».

Цель исследования заключается в повышении проезжаемости дорог сельскохозяйственного назначения на основе разработки оптимального состава грунта, укрепленного стеблями злаковых, используемого в конструкции дорожной одежды автомобильных дорог низших категорий.

Экспериментальная часть и моделирование. Определение оптимального соотношения соломенной фибры осуществлялось по трем типам грунтов, достаточно широко распространенных в Волгоградской области, — суглинка полутвердому, суглинка мягкому и супеси пластичной. На основании проведенного обзора научных исследований по данной тематике установлено, что введение соломенной фибры уменьшает плотность грунта, тем самым снижая прочность на сжатие. В то же время введение стеблей злаковых выполняет армирующую функцию, повышая в определенном пределе прочность грунтов на изгиб и их сдвигустойчивость, тем самым снижая колееобразование и, как следствие, способствуя повышению проезжаемости дорог сельскохозяйственного назначения. Следовательно, гипотеза исследований заключается в том, что оптимальное соотношение «грунт — соломенная фибра» будет представлять собой некоторый интервал, в пределах которого прочностная характеристика грунтов на сжатие остается удовлетворительной, но при этом наблюдается улучшение прочностной характеристики грунта на растяжение при изгибе, определяющей проезжаемость дороги. Исходя из этого, экспериментальная часть исследований состояла из трех этапов:

1. На основании испытаний образцов-цилиндров трех типов грунтов с различным содержанием соломенной фибры устанавливалась зависимость предела прочности модифицированных грунтов на сжатие от количества вводимых стеблей соломы.

2. На основании испытаний образцов-балочек трех типов грунтов с различным содержанием соломенной фибры устанавливалась зависимость предела прочности модифицированных грунтов на растяжение от количества вводимых стеблей соломы.

3. Полученные фактические зависимости аппроксимировались математическими моделями, после чего осуществлялся графический поиск решения и давались рекомендации относительно оптимального соотношения «грунт — соломенная фибра» для каждого из исследуемых типов грунтов.

Зерновой состав глинистых грунтов был установлен заранее, и по строительной классификации был определен вид дисперсного грунта. Подбор соотношения «соломенная фибра — грунт» включал:

отбор проб материалов и установление соответствия их свойств требованиям ГОСТ, СНиП и ТУ;

определение оптимального содержания воды в смеси и расчет максимальной плотности образцов;

определение необходимого количества соломенной фибры путем приготовления шести пробных составов смесей и лабораторных образцов из них;

определение физико-механических показателей образцов.

Для определения прочности на сжатие на прессе в жестких цилиндрических формах с двухсторонними вкладышами (внутренний диаметр 50 мм) были изготовлены цилиндрические образцы. При этом выдержана статическая нагрузка 30,0 МПа, время ее действия 3 мин. Для определения прочности на растяжение при изгибе изготавливались призмы квадратного сечения $70 \times 70 \times 280$.

Пределы прочности при сжатии образцов определяли на гидравлическом прессе после их твердения в течение 4, 5, 6 и 7 сут и переводили к 28 сут по формуле

$$R_n = R_{28} \left(\frac{\lg n}{\lg 28} \right), \quad (1)$$

где R_n — предел прочности образцов возраста n сут ($n = 4, 5, 6, 7$), МПа; R_{28} — предел прочности образцов в возрасте 28 сут, МПа.

Пределы прочности на сжатие определяли как среднее значение трех образцов, изготовленных из смеси одного состава. Результаты лабораторных испытаний приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты испытаний образцов

	Массовая доля соломенной фибры, %						
	0	1	2	4	6	8	10
	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа						
	Предел прочности на сжатие, МПа						
Суглинок полутвердый	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{6,2}{2,0}$	$\frac{3}{1}$	$\frac{1,8}{0,6}$
Суглинок мягкий	$\frac{1,5}{3,5}$	$\frac{2,2}{2,0}$	$\frac{2,8}{1,6}$	$\frac{2,4}{1,0}$	$\frac{2,0}{0,8}$	$\frac{1,6}{0,5}$	$\frac{1,0}{0,2}$
Супесь пластичная	$\frac{1,0}{2,2}$	$\frac{1,2}{1,6}$	$\frac{1,6}{1,4}$	$\frac{2,0}{0,9}$	$\frac{1,6}{0,5}$	$\frac{1,0}{0,3}$	$\frac{0,6}{0,1}$

Полученные зависимости не линейны. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от количества стеблей злаковых носит ярко выраженный квадратичный характер, и для ее аппроксимации наилучшим образом подойдет парабола. Зависимость предела прочности на сжатие ближе к показательной функции, и, следовательно, ее экспонента лучше аппроксимирует ее, чем прямая. В связи с нелинейностью полученных экспериментальных данных применять к ним линейные регрессионные модели в их исходном состоянии не представляется возможным. Линеаризуем функции по известным зависимостям, после чего с использованием Deductor Studio построим соответствующие модели на основе регрессионного анализа.

Зависимость предела прочности на сжатие от массовой доли соломенной фибры линеаризуется в соответствии с формулами

$$y = a_0 a_1^x; \quad (2)$$

$$y = \ln a_0 + x_1 \ln a_1, \quad (3)$$

где y — предел прочности грунтового образца на сжатие, МПа; x — массовая доля соломенной фибры, %; a_0, a_1 — некоторые константы.

После соответствующих преобразований получены следующие модели, характеризующие зависимость предела прочности грунтов на сжатие от массовой доли соломенной фибры (рис. 2 и 3):

для суглинка полутвердого: $y = 6,908 \cdot 0,79^x$;

для суглинка мягкого: $y = 2,967 \cdot 0,779^x$;

для супеси пластичной: $y = 2,428 \cdot 0,749^x$.

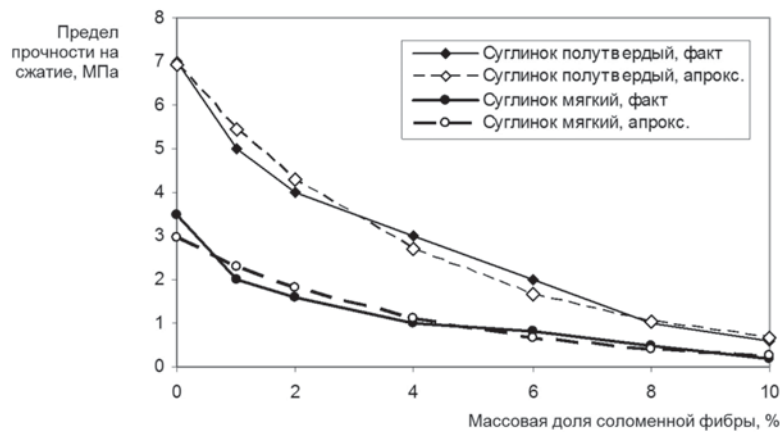


Рис. 2. Графики моделей, аппроксимирующих результаты фактической зависимости предела прочности на сжатие суглинков от массовой доли соломенной фибры

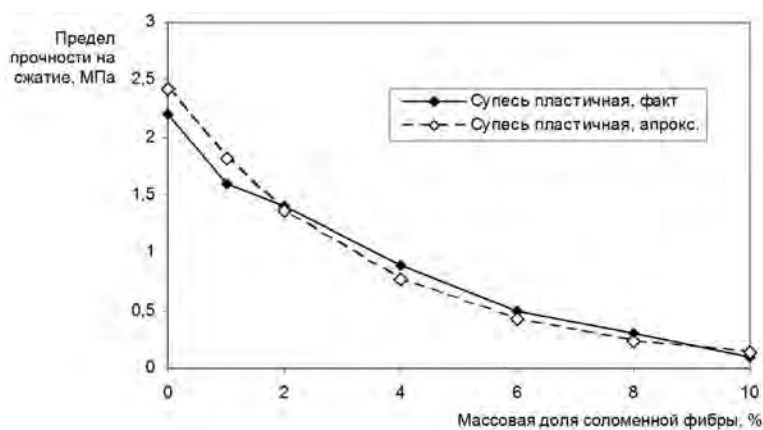


Рис. 3. График модели, аппроксимирующей результаты фактической зависимости предела прочности на сжатие супеси от массовой доли соломенной фибры

Множественные коэффициенты корреляции полученных зависимостей находятся в пределах 0,98...0,99, что свидетельствует о хорошей сходимости моделей и обоснованности их применения в расчетах.

Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от массовой доли соломенной фибры линейризуется в соответствии с формулами

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2;$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2,$$

где y — предел прочности грунтового образца на растяжение при изгибе, МПа; x, x_1 — массовая доля соломенной фибры, %; x_2 — квадрат массовой доли соломенной фибры, %²; a_0, a_1, a_2 — некоторые константы.

После соответствующих преобразований получены следующие модели, характеризующие зависимость предела прочности грунтов на растяжение при изгибе от массовой доли соломенной фибры (рис. 4 и 5):

для суглинка полутвердого: $y = 2,97 + 1,31x_1 - 0,147x_2$;

для суглинка мягкого: $y = 1,83 + 0,319x_1 - 0,041x_2$;

для супеси пластичной: $y = 1,0004 + 0,356x_1 - 0,041x_2$.

Коэффициенты корреляции полученных зависимостей находятся в пределах 0,88...0,94, что также свидетельствует о хорошей сходимости моделей.



Рис. 4. Графики моделей, аппроксимирующих результаты фактической зависимости предела прочности на растяжение при изгибе суглинков от массовой доли соломенной фибры

Оптимальная массовая доля соломенной фибры определялась в точке пересечения зависимости, отражающей изменение предела прочности на сжатие, и зависимости, отражающей изменение предела прочности на растяжение при изгибе для каждого типа грунта (рис. 6).

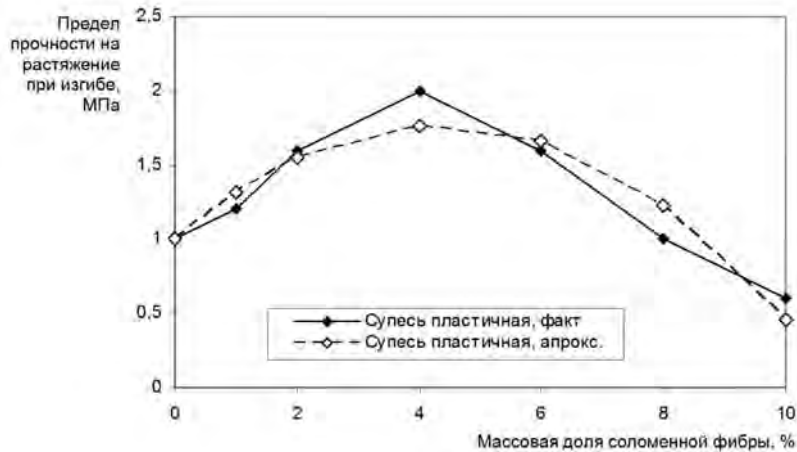


Рис. 5. Графики моделей, аппроксимирующих результаты фактической зависимости предела прочности на растяжение при изгибе супеси от массовой доли соломенной фибры

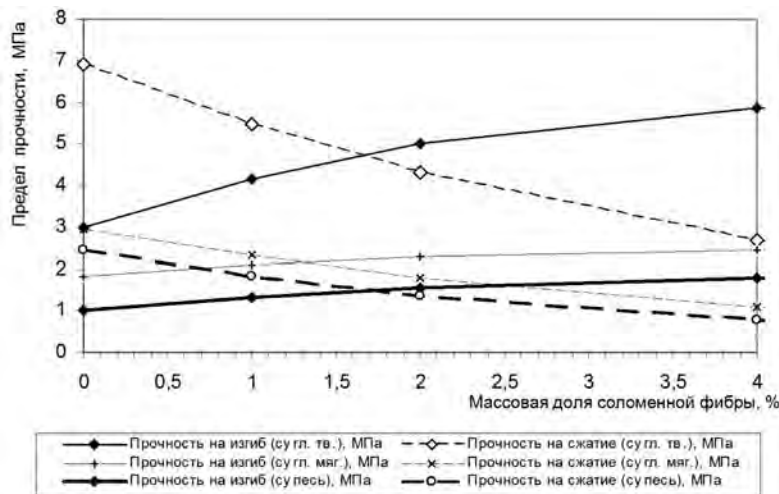


Рис. 6. Определение оптимального соотношения «соломенная фибра — грунт»

Обсуждения результатов и выводы. Авторами предложено конструктивное решение, заключающееся в подборе оптимального состава «соломенная фибра — грунт» для трех различных типов дисперсных грунтов, нацеленное на повышение проезжаемости дорог с малой интенсивностью, при этом:

1. С высокой степенью статистической значимости (коэффициент корреляции достаточно близок к единице) авторами построены корреляционные модели нелинейных зависимостей, характеризующие зависимости изменения пределов прочности на сжатие и на растяжение при изгибе для трех типов достаточно распространенных дисперсных грунтов — суглинка полутвердого, суглинка мягкого и супеси пластичной.

2. На основе совместного решения систем уравнений авторами установлено, что оптимальная массовая доля соломенной фибры в составе

переуплотненных конструкций из дисперсных грунтов составляет от 1,2...1,8 % в зависимости от вида грунта. В частности, оптимальная масса злаковых стеблей в конструкциях из суглинка полутвердого составляет 19 кг на 1 т грунта, в конструкциях из суглинка мягкого — 15 кг на 1 т, в конструкциях из супеси пластичной — 12 кг на 1 т.

3. Использование соломенной фибры в установленных в исследовании пределах в конструкциях автомобильных дорог из переуплотненного грунта будет способствовать улучшению проезжаемости и, как следствие, росту производительности АПК. Рекомендуемая область применения построенных авторами моделей — автомобильные дороги сельскохозяйственного назначения, служащие для вывоза урожая непосредственно с места выращивания продукции АПК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынушкин А. Б. Актуальные проблемы развития экономики сельского хозяйства России // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2011. № 2. С 91—95.
2. Сильянов В. В., Домке Э. Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений. 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 352 с.
3. Конструкция дорожной одежды для временных дорог сельскохозяйственного назначения: пат. 2596164. Рос. Федерация: МПК E02D 17/20 E01C 3/04 E01C 9/08 / Боровик В. С., Боровик В. В., Засорина Г. Д., Боровик А. В. № 2015128739/03; заявл. 14.07.2015; опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24. 6 с.
4. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / Минсельхоз России; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с.
5. Pannu A. Effect of soil stabilization in construction of roads and strength improvement // International Journal of All Research Education and Scientific Methods. URL: http://www.ijaresm.com/uploaded_files/document_file/Ankit_Pannu1eGr.pdf
6. Afrin H. A Review on different types soil stabilization techniques // International Journal of Transportation Engineering and Technology. 2017. Vol. 3. No. 2. Pp. 19—24.
7. Абрамова Т. Т., Босов А. И., Валиева К. Э. Использование стабилизаторов для улучшения свойств связных грунтов // Геотехника. 2012. № 3. С. 4—28.
8. Левкович Т. И., Мевлидинов З. А., Мевлидинов М. З. Исследование прочности глинистых грунтов, улучшенных добавкой шлака и укрепленных цементом, для использования их при строительстве оснований автомобильных дорог // Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2015. № 11(20). С. 84—87.
9. Романенко И. И., Пилясов Б. В. Материал на основе металлургических шлаков для укрепления дорожных оснований // Строительные материалы. 2008. № 12. С. 28—29.
10. Eskioglou I P, Oikonomou N. Protection of environment by the use of fly ash in road construction // Global Nest Journal. URL: http://users.auth.gr/pxeskio/papers/442_ESKIOGLOU_proof.pdf
11. Rahman Md. Anisur. The potentials of some stabilizers for the use of lateritic soil in construction // Building and Environment. 1986. Vol. 21. No. 1. Pp. 57—61.
12. Ural N. Effects of additives on the microstructure of clay // Road Materials and Pavement Design. 2016. Vol. 17. No. 1. Pp. 104—119.
13. Боровик В. С., Алексиков С. В. Дорожные основания из переуплотненного грунта в условиях Нижнего Поволжья // Наука и техника в дорожной отрасли. 2003. № 3. С. 35—36.
14. Боровик В. С., Боровик В. В., Засорина Г. Д. Влияние структурных связей между твердыми компонентами на плотность грунта дорожной одежды // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 2. С. 41—42.
15. Сотовая конструкция земляного полотна: пат. 2392367 Рос. Федерация: МПК E01C3/04 / Артамонов Д. В., Кузнецов Н. С., Смогунов В. В., Вдовикина О. А., Бахилин В. А. № 2009117951/03; заявл. 12.05.2009; опубл. 20.06.2010, Бюл. № 12. 4 с.

16. Soil stabilization: WO 2007070706 A2. US: international C12N9/78 / Leigh L. Lindenbaum; Applicant(s): Terrafusion, Inc. Soil stabilization Patent. 2006. № PCT/US2006/048094; заявл. 15.12.2006; опубл. 15.12.2005. 10 p.
17. *Nnochiri E. S., Olufikayo O.* Aderinlewo geotechnical properties of lateritic soil stabilized with banana leaves ash // *FUOYE Journal of Engineering and Technology*. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 116—119.
18. *Ogunribido T. H. T.* Potentials of sugar cane straw ash for lateritic soil stabilization in road construction // *International Journal of Science and Emerging Technologies*. 2014. Vol. 3. No. 5. Pp. 102—106.
19. *Nnochiri E. S., Ogundipe O. M.* Geotechnical properties of lateritic soil stabilized with ground-nut husk ash // *Civil Engineering Journal*. 2016. Vol. 2. No. 11. Pp. 568—575.
20. Experimental investigation on use of wheat straw ash and bentonite in self-compacting cementitious system / R. A. Khushnood, S. A. Rizwan, S. A. Memon, J. M. Tulliani, G. A. Ferro // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/270103653_Experimental_Investigation_on_Use_of_Wheat_Straw_Ash_and_Bentonite_in_Self-Compacting_Cementitious_System
21. *Prabhakara J., Sridhar R. S.* Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil // *Construction and Building Materials*. 2002. No. 16. Pp. 123—131.
22. *Sivakumar Babu G. L., Vasudevan A. K.* Strength and stiffness response of coir fiber-reinforced tropical soil // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2008. Vol. 20. No. 9. Pp. 571—577.
23. *Аль-Хаддад А. О. О., Трофимов Б. Я., Крамар Л. Я.* Исследование южно-сычевских глин и оптимизация состава самана // *Вестник ЮУрГУ. Сер.: Стр-во и архит.* 2017. № 3. С. 35—39.
24. Feasibility of saline soil reinforced with treated wheat straw and lime / M. Li, S. Xi Chai, H. Yuan Zhang, H. Pu Du, L. Wei // *Soils and Foundations*. 2012. Vol. 52. No. 2. Pp. 228—238.

© Скоробогатченко Д. А., Засорина Г. Д., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Скоробогатченко Д. А., Засорина Г. Д. Обеспечение проходимости сельскохозяйственных дорог на основе применения переуплотненных грунтов, армированных отходами агропромышленного производства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2018. Вып. 51(70). С. 92—102.

Об авторах:

Скоробогатченко Дмитрий Анатольевич — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, dmitryskor2004@gmail.com

Засорина Галина Дмитриевна — магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ggzzaass93@yandex.ru

D. A. Skorobogatchenko, G. D. Zasorina

INCREASING THE POSSIBILITY TO USE AGRICULTURAL ROADS BASED ON OVERCONSOLIDATED SOIL REINFORCED WITH WASTES OF AGRO-INDUSTRY

The article deals with the problem how to increase the possibility to use agricultural roads based on overconsolidated soils reinforced with grain crop stems. Mathematical planning of the experiment is provided in the form of approximation of practical tests of samples for strength at compression and bend by nonlinear dependences. On the basis of the joint graphic solution of mathematical dependences

as to the strength at compression and bend the recommendations on optimum ratio “soil — grain crop stems” for three types of disperse soils used in road construction are given. It is noted that the composition of such soils provides increased traffic on agricultural roads while ensuring the required strength.

Key words: overconsolidated soil, agricultural roads, soil strengthening with grain crop stems.

For citation:

Skorobogatchenko D. A., Zazorina G. D. [Increasing the possibility to use agricultural roads based on over-consolidated soil reinforced with wastes of agro-industry]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 92—102.

About authors:

Skorobogatchenko Dmitrii Anatol'evich — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Professor of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, dmitryskor2004@gmail.com

Zazorina Galina Dmitrievna — Master's Degree student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ggzzaass93@yandex.ru

УДК 625.72

И. В. Стефаненко, С. В. Алексиков, А. И. Болдин, К. В. Сомова

Волгоградский государственный технический университет

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПАРКОВОК

Приведена методика обоснования рациональной схемы прибордюрных автомобильных парковок на городской улично-дорожной сети.

Ключевые слова: городская дорога, парковка автомобилей, проезжая часть, продолжительность парковки.

Ограниченное строительство внеуличных паркингов, высокие темпы автомобилизации и отсутствие перехватывающих стоянок в крупных городах привело к тому, что неорганизованное паркирование легковых автомобилей на улично-дорожной сети (УДС) больших городов приняло массовый характер. Средняя плотность паркирования на магистральной и местной УДС составляет около 290 легковых автомобилей на километр улицы. Из-за недостаточного количества машино-мест на внеуличных паркингах, наличия выделенных полос для движения общественного транспорта и высокой загрузки городских дорог припарковаться легковым автомобилям зачастую практически невозможно. По данным обследований, средняя плотность паркирования автомобилей, размещенных на УДС с нарушениями правил дорожного движения, особенно в центральной части г. Волгограда, составляет 130...150 машин на километр улицы, или 45 % от всех припаркованных автомобилей. Несанкционированное паркирование автомобилей на первой полосе движения снижает пропускную способность дорог на 25...30 % [1—3]. Средняя скорость движения уменьшается на 30 %: на 1-й полосе с 55 до 40 км/ч, на 2-й — с 65 до 45 км/ч, на 3-й — с 70 до 50 км/ч.

В условиях дефицита свободной территории вдоль городских дорог строительство прибордюрных парковок, особенно в центральной части города, является рациональным решением. Известны инженерные решения паркирования автомобилей с их установкой под углом 0...150° или с использованием широких тротуаров [3—5]. Для разработки методики обоснования рациональной схемы прибордюрных автомобильных парковок исследовано влияние перестроений и маневров заезда-выезда легковых автомобилей при пользовании уличными парковками на безопасность дорожного движения и продолжительность въезда-выезда с парковки.

Анализ существующего опыта проектирования и строительства прибордюрных паркингов позволил определить основные факторы, определяющие рациональную схему парковок (рис. 1).

Исследования [2, 6, 7] показывают, что при увеличении интенсивности движения в два раза (с 400 до 800 и с 600 до 1200 авт./ч на одну полосу движения) вероятность возникновения ДТП из-за перестроений легковых автомобилей и маневров заезда-выезда с парковки увеличивается в два-три раза.

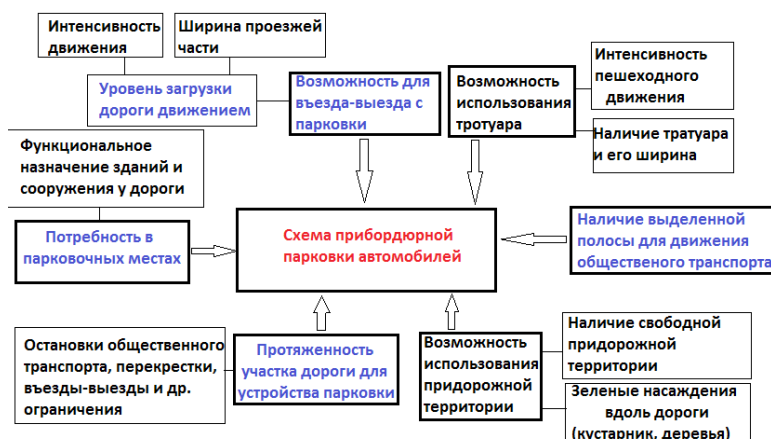


Рис. 1. Структурная схема проектирования придорожной парковки

Натурные обследования характеристик перестроения автомобилей в зоне парковок позволили определить затраты времени на тот или иной маневр. Установлено, что время заезда-выезда с придорожных парковок имеет нормальное распределение (рис. 2—5).

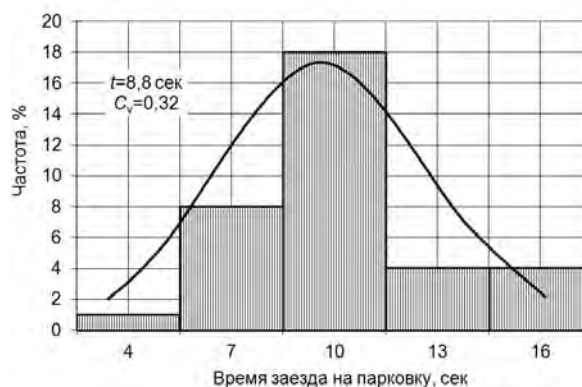


Рис. 2. Распределение времени заезда на парковку по ул. Мира



Рис. 3. Распределение времени заезда на парковку по ул. Рабоче-Крестьянской

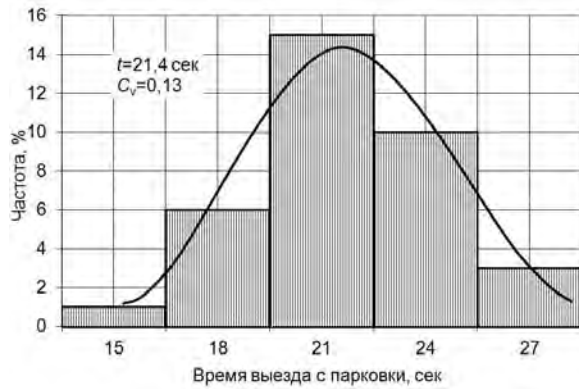


Рис. 4. Распределение времени выезда с парковки по ул. Мира

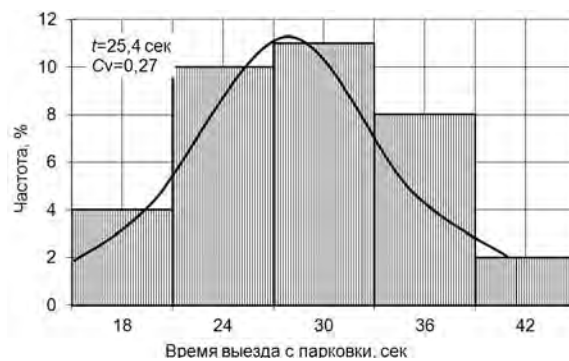


Рис. 5. Распределение времени выезда с парковки по ул. Рабоче-Крестьянской

Продолжительность заезда на парковку существенно зависит от парковки передним или задним ходом движения автомобилей. Продолжительность парковки задним ходом в 4...5 раз больше, чем передним (рис. 6 и 7). Поэтому схемы парковки автомобилей под углом более 90° , предполагающие заезд на парковку задним ходом, на дорогах с интенсивным движением неэффективны.

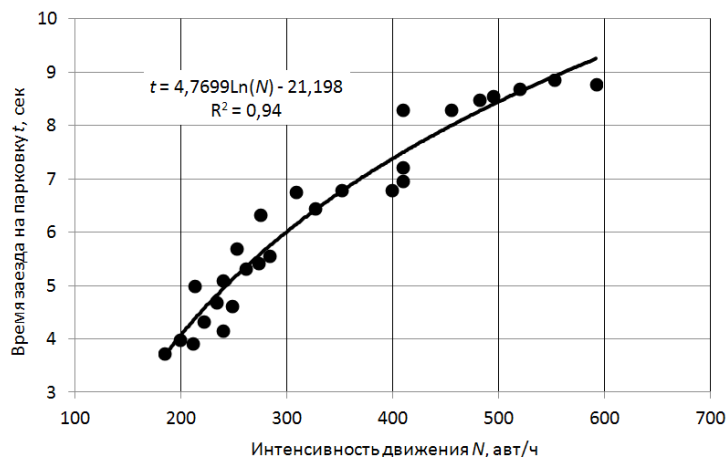


Рис. 6. Время заезда на парковку передним ходом

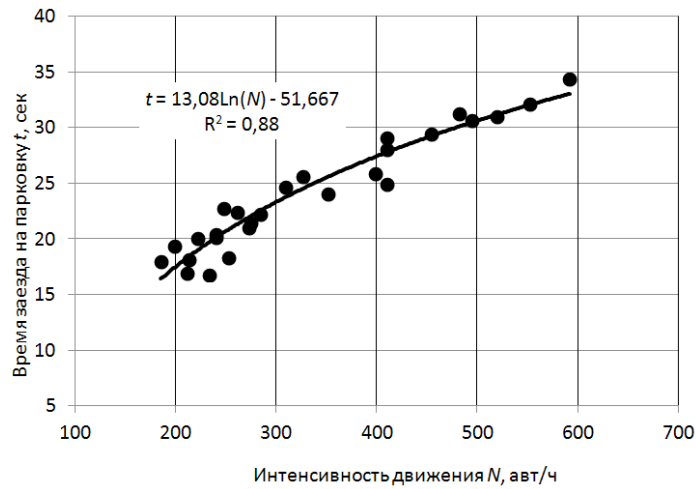


Рис. 7. Время заезда на парковку задним ходом

Продолжительность выезда автомобиля с парковки существенно зависит от угла парковки и интенсивности движения транспорта по первой полосе (рис. 8).

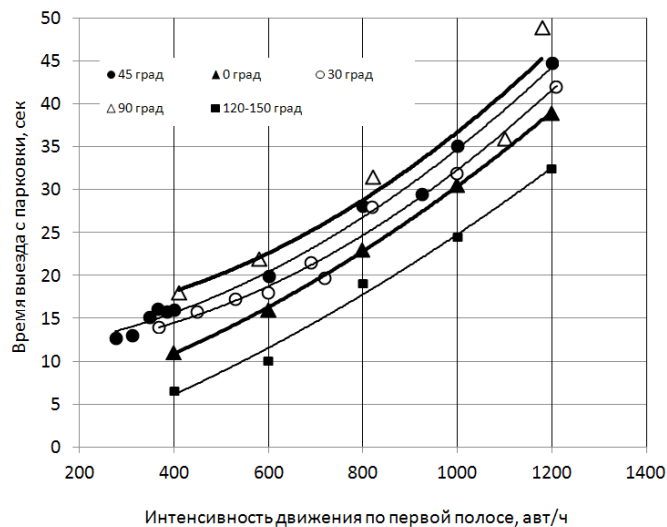


Рис. 8. Время выезда с парковки в зависимости от угла установки автомобиля и интенсивности движения на первой полосе

Зависимость продолжительности выезда с парковки t , с, от угла установки автомобиля α и интенсивности движения по первой полосе N имеет вид:

$$t = \frac{0,054N^{0,936}}{\alpha^{0,047}}. \quad (1)$$

Коэффициент множественной корреляции 0,82, стандартное отклонение 0,29.

Исследования показали, что наибольшие потери времени наблюдаются при парковании под углом 90° , когда водитель вынужден выезжать с парковочного места задним ходом и ожидать достаточный интервал между проезжающими автомобилями на первой полосе движения. Поэтому схема паркования автомобилей под углом 90° на дорогах с интенсивным движением неэффективна.

Условие выбора рациональной схемы паркования автомобилей на при-
бордюрной парковке записывается в следующем виде:

$$\begin{cases} B_n \leq B_{пп}, \\ M_n \geq M_{тр}, \\ t_{вв} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (2)$$

где B_n — требуемая ширина парковки, зависит от угла установки автомобиля и его расчетных размеров (табл. 1); $B_{пп}$ — ширина придорожной полосы, которую можно использовать для устройства парковки; M_n , $M_{тр}$ — вместимость парковки и требуемое количество машино-мест; $t_{вв}$ — время въезда-выезда автомобилей с парковки.

Т а б л и ц а 1

Ширина полосы парковки автомобиля, м [8]

Ширина	Угол парковки автомобилей относительно бордюра, град.				
	0	30	45	60	90
Средняя (матем. ожид.)	2,65	5,30	5,97	6,22	5,47
Максимальная, $P = 90\%$	2,96	5,68	6,38	6,62	5,77
Минимальная, $P = 90\%$	2,34	4,92	5,57	5,83	5,16

Ширина придорожной полосы, на которой возможно размещение парковки $B_{пп}$, м, определяется шириной полосы движения $B_{пд}$ и шириной тротуара $B_{тр}$, шириной, свободной от застройки территории вдоль дороги B_3 :

$$B_{пп} = B_{пд} + B_{тр} + B_3, \quad (3)$$

Вместимость парковки M_n определяется в зависимости от ее протяженности L_n и удельной плотности паркования p автомобилей (табл. 2):

$$M_n = \frac{L_n p}{100}. \quad (4)$$

Т а б л и ц а 2

Удельная плотность паркования автомобилей (на 100 пог. м) [9]

Размеры	Удельная плотность парковки автомобилей в зависимости от угла установки ТС					
	0	30	45	60	75	90
Минимальная	12,9	15,6	21,8	26,7	29,8	30,8
Максимальная	14,0	18,6	26,0	31,8	35,5	36,8
Средняя	13,4	17,0	23,7	29,1	32,4	33,6

Требуемое количество машино-мест $M_{\text{тр}}$ определяется по нормативам СП 42.13330.2011 «Градостроительство, планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*».

Время въезда-выезда автомобилей с парковки зависит от угла паркования автомобиля и интенсивности движения транспорта по первой полосе: при парковании под углом до 90° (передним ходом автомобиля)

$$t_{\text{вв}} = 4,769 \ln(N) - 21,198 + \frac{0,054N^{0,936}}{\alpha^{0,047}}; \quad (5)$$

при парковании под углом более 90° (задним ходом автомобиля)

$$t_{\text{вв}} = 13,08 \ln(N) - 51,667 + \frac{0,054N^{0,936}}{\alpha^{0,047}}. \quad (6)$$

Приведенная методика обоснования рациональной схемы прибордюрных парковок позволяет учитывать интенсивность движения городского транспорта по дороге, наличие свободной придорожной территории и тротуарного пространства, условия въезда-выезда с парковки, плотность паркования автомобилей и потребность в машино-местах на парковках. Она рекомендуется для использования при проектировании прибордюрных парковок на городских улицах и дорогах при разработке градостроительных решений по развитию городских территорий, реконструкции и капитальном ремонте существующей улично-дорожной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чванов В. В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом работы водителя. М.: ИНФРА-М, 2010. 416 с.
2. Попов В. Н. Уличные парковки и безопасность дорожного движения // Архитектура и строительство Москвы. 2005. № 5. URL: http://asm.rusk.ru/05/asm5/asm5_7.htm
3. Храпова С. М., Рябоконь Ю. А. Влияние уличных парковок автотранспорта на загрузку городских магистралей // Вестник СибАДИ. 2008. № 2(8). С. 15—18.
4. Zeeger C. V. Highways accident analysis systems. NCHRP (Practice 91) // Transportation research Board. Washington, D. C., 1982.
5. Arnott R., Rowse J. Downtown parking in auto city // Regional Science and Urban Economics, 2009.
6. Бадалян А. М. Оценка уровня безопасности движения на двухполосных автомобильных дорогах методом имитационного моделирования конфликтных ситуаций: дис... канд. техн. наук. М., 2003.
7. Еремин В. М., Бадалян А. М. Имитационное моделирование транспортных потоков и метод конфликтных ситуаций. Совершенствование методов проектирования автомобильных дорог // Сб. науч. тр. МАДИ. М., 1995. С. 145—152.
8. Алексиков С. В., Болдин А. И. Проектирование прибордюрных парковок на городских дорогах // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2017. № 47(66). С. 172—180.
9. Алексиков С. В., Болдин А. И. Обоснование параметров городских автомобильных парковок // Дороги и мосты. 2017. № 35. С. 15—16.

© Стефаненко И. В., Алексиков С. В., Болдин А. И., Сомова К. В., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Обоснование схемы автомобильных парковок / И. В. Стефаненко, С. В. Алексиков, А. И. Болдин, К. В. Сомова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 103—109.

Об авторах:

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, профессор, первый проректор — директор института архитектуры и строительства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

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

Болдин Александр Игоревич — аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, skip-1313@mail.ru

Сомова Ксения Владимировна — старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, skv_83@inbox.ru

I. V. Stefanenko, S. V. Aleksikov, A. I. Boldin, K. V. Somova

JUSTIFICATION OF THE SCHEME OF PARKING LOTS

The technique of justification of a rational scheme of near curb parking lots in the city road network is provided in the article.

Key words: city road, car parking, carriageway, parking duration.

For citation:

Stefanenko I. V., Aleksikov S. V., Boldin A. I., Somova K. V. [Justification of the scheme of parking lots]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 103—109.

About authors:

Stefanenko Igor' Vladimirovich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, First Vice-Principal — Director of Institute of Architecture and Civil Engineering, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Aleksikov Sergei Vasil'evich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AL34rus@mail.ru

Boldin Aleksandr Igorevich — Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, skip-1313@mail.ru

Somova Kseniya Vladimirovna — Senior Lecturer of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, skv_83@inbox.ru

УДК 656(470.45)

М. П. Сухачева, Н. В. Коростелева

Волгоградский государственный технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ КАК МЕТОД СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЛАГОПОЛУЧНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены проблемы транспортной инфраструктуры в крупных городах. Выделены основные факторы негативного воздействия автотранспорта, дана оценка их влияния на городскую среду и население. Для уменьшения негативного воздействия предложен комплекс мероприятий, реализация которого возможна в условиях сформированной городской территории.

К л ю ч е в ы е с л о в а: городская среда, балльный показатель экологического благополучия, индекс устойчивого развития города, загрязнение атмосферного воздуха, электротранспорт.

Городская среда является одним из основных условий жизнедеятельности современного человека. Ее состояние влияет на здоровье, продолжительность жизни и трудовую активность населения. Благоприятная здоровая среда города обеспечивает комфорт для горожан и гармоничное развитие города.

Для того чтобы гарантировать благоприятные условия проживания населения, необходимо обеспечить экологическое благополучие городской среды. Оно оценивается с помощью медико-демографических и гигиенических показателей, таких как отношение средней продолжительности жизни к нормативу, показатель здоровья населения, доля инфекционных больных в общей численности населения, коэффициент рождаемость и др. Экономический фактор также играет роль в создании благополучия проживания населения. К его показателю относится уровень жизни населения.

Устойчивого и сбалансированного функционирования городов и муниципалитетов можно достигнуть только при согласованном решении экологических и экономических задач.

Комплексная оценка уровня экологического благополучия проводится с учетом медико-демографических, санитарно-гигиенических и экономических показателей, т. е. качественного состояния здоровья населения, природной и искусственной среды. Выделяют два варианта оценки:

- определение балльного показателя экологического благополучия;
- расчет индекса устойчивого развития города [1].

Для определения балльного показателя следует использовать существующую «экологическую пирамиду», в которой заключены семь ступеней экологического состояния городской среды, каждая из которых имеет свои баллы:

- 1) гармоническое (7-я ступень);
- 2) оптимальное (6-я ступень);
- 3) нормативное (5-я ступень);
- 4) допустимое (4-я ступень);
- 5) кризисное (3-я ступень);
- 6) катастрофическое (2-я ступень);
- 7) краховое (1-я ступень).

Каждая из ступеней определяет уровень воздействия антропогенных и техногенных факторов на окружающую среду и население. Неблагоприятной ступенью является первая — краховое состояние. Она определяет степень воздействия, которая приводит к массовым смертельным исходам населения, невосстанавливаемым поражениям окружающей среды и разрушениям систем организации городской среды. Седьмая ступень, напротив, является наиболее благоприятной, она определяет взаимодействие природы с факторами воздействия как совершенство и упорядоченность всех видов отношений между населением, природой и архитектурной средой.

Зоны города оцениваются по балльному показателю, установленному в соответствии со степенями экологического состояния среды. Далее уровень экологического благополучия городской среды оценивается по сумме баллов всех зон.

Что же касается расчета индекса устойчивого развития города, то он проводится по формуле

$$И_{у.р.г} = \sum_i^n \frac{P_{cp}}{P_n} K_i, \quad (1)$$

где n — число показателей; P_{cp} — средний и фактический показатель; P_n — нормативный показатель; K_i — весовой коэффициент i -го показателя.

В качестве показателей рассматривают степень загрязнений атмосферного воздуха, воды, почвы, растительности, среднюю продолжительность жизни, уровень среднезвешенного дохода населения. Благодаря значениям балльного показателя и индекса устойчивости развития проводится анализ динамики изменения качества городской среды.

Город, как место сосредоточения основной массы жителей, является центром возникновения основных экологических проблем. Особенно актуальной эта проблема стала начиная с XX в. в связи со стремительным развитием промышленности и транспорта. Решение проблемы снижения негативного воздействия автотранспорта на экологию в условиях городского пространства является важной составляющей экологической безопасности страны. Принимая во внимание увеличение объема грузоперевозок посредством автотранспорта, следует отметить, что значимость данной проблемы с каждым годом только растет.

Транспорт и инфраструктура транспортного комплекса являются сильнейшим источником загрязнения городской среды, а также основным источником шума и вибрации в городах. Каждый год автотранспорт вырабатывает десятки миллионов тонн вредных канцерогенных веществ, которые отрицательно сказываются на здоровье населения и состоянии окружающей среды [2].

В 40 субъектах Российской Федерации более 54 % городского населения находится под воздействием высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха. На сегодняшний день автомобильный транспорт служит причиной 40...60 % загрязнения воздушного бассейна [3]. Вредные выбросы оказывают негативное влияние на здоровье человека, состояние почвы, растений, животных, что в совокупности наносит ущерб экономике страны.

Основная причина загрязнения воздуха кроется в неполном и/или неравномерном сгорании топлива: для движения автомобиля расходуется всего 15 %, тогда как 85 % выбрасывается в атмосферный воздух. Выбросы от автотранспорта в России составляют около 22 млн т в год, что значительно больше выбросов от железнодорожного транспорта. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания содержат более 200 наименований вредных веществ и соединений, среди которых в том числе и канцерогены [4]. При этом каждый год выбросы в атмосферу от транспортных средств увеличиваются на 3,1 %. Вследствие такого воздействия наносится вред здоровью человека, нарушается баланс экологической среды, меняются природные и климатические условия.

Основной физической характеристикой примесей в атмосфере является их концентрация — это масса в граммах вещества в единице объема (м^3) воздуха при нормальных условиях. Концентрация примесей определяет физическое, химическое и другие виды воздействия вещества на человека и окружающую среду. Концентрация служит основным параметром при нормировании содержания примесей в атмосфере.

С целью регламентации загрязнений атмосферного воздуха используется предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ.

Согласно ГН 2.1.6.695-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», ПДК — это концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущие поколения, не снижающая работоспособность человека, не ухудшающая его самочувствие и санитарно-бытовые условия жизни.

ПДК атмосферных загрязнений установлены в двух показателях: максимально разовые (за 30 мин) и среднесуточные (за 24 ч). Максимально разовая ПДК в дополнение к среднесуточной ПДК устанавливается для веществ, обладающих запахом или раздражающим действием.

Нормативы ПДК разрабатываются и утверждаются органами санитарно-эпидемиологической службы и государственными органами в области охраны окружающей среды.

«Вредными часами» по концентрации выбросов загрязняющих веществ считаются часы пик в утренний и вечерний период. Частые остановки в связи с большим количеством перекрестков подвергают расположенную вблизи застройку воздействию высокой концентрации оксида углерода.

Опасность выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух заключается в первую очередь в том, что воздействие невозможно заметить сразу. Иногда последствия можно наблюдать через годы, когда изменить уже ничего нельзя.

На улицах городов можно наблюдать еще один вид загрязнения воздушной среды — пыль, которая переносится автомобилями на дорогах. Во время езды, особенно при торможении, в результате трения покрышек о поверхность дороги образуется резиновая пыль, которая постоянно присутствует в воздухе на магистралях с интенсивным движением. Но покрышки не являются единственным источником пыли [5]. Твердые частицы в виде пыли выделяются с отработавшими газами, завозятся в город в виде грязи на кузовах автомобилей,

образуются от истирания дорожного покрытия, поднимаются в воздух вихревыми потоками, возникающими при движении транспорта и т. д.

Установлено, что в придорожной пыли и смоге содержится более 200 наименований химических веществ, таких как диоксид серы, сажа, твердые металлы (свинец) и т. д. Такая пыль губительно действует на растительный мир и здоровье человека. Концентрация пыли в атмосферном воздухе зависит от множества факторов — климатических (скорость ветра, средняя температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление), режима движения транспортного потока. Основным фактором, влияющим на концентрацию пыли в воздухе, является скорость ветра. Чрезмерно вредна пыль, образуемая в результате трения шин об асфальт. Она представляет собой смесь мельчайших частиц резины и асфальта и содержит множество опаснейших для здоровья органических соединений. Частицы пыли, попадая в организм человека, оседают в легких, растворяются в крови, накапливаясь в организме, что впоследствии вызывает различные заболевания органов, в том числе рак [6].

Помимо химического загрязнения атмосферы, автотранспорт является источником акустического загрязнения. На его долю приходится 80...90 % всех внешних шумов в городе, как по ареалу, так и по величине создаваемого сверхнормативного воздействия [7].

При анализе акустического режима городских территорий шумовую характеристику транспортного потока $L_{A_{экв}}$ сравнивают с нормативными значениями, прописанными в СП 42.13330.2011 «Защита от шума». Так, для территорий, непосредственно прилегающих к жилым зданиям, в дневное время суток установлен норматив 55 дБА, а для жилых помещений — 40 дБА.

Что касается ситуации в городах, то на сегодняшний день на отдельных участках улично-дорожной сети шумовая характеристика движущегося транспорта варьируется от 70 дБА (улицы районного значения с долей грузового транспорта менее 10 %) до 82 дБА (общегородские магистрали с долей грузового транспорта 10...30 %). Данные показатели свидетельствуют о том, что на территориях, расположенных в непосредственной близости от магистралей, уровень шума превышен на 10...20 дБА, а в квартирах жилых домов, обращенных окнами в сторону проезжей части, — на 20...30 дБА. При этом городской шум имеет тенденцию увеличиваться ежегодно на 1...2 дБА [8].

В настоящее время шум является таким фактором, который уже нельзя игнорировать в градостроительстве. Исследования медиков, проведенные как в нашей стране, так и за рубежом, показывают, что городской шум разрушительно влияет на органы слуха, снижает трудоспособность, способствует возникновению агрессии, развитию болезней сердца и сосудов, что, в свою очередь, приводит к сокращению продолжительности жизни [9].

К следующему виду негативного воздействия транспорта на окружающую среду можно отнести вибрацию. Вибрацией принято называть наиболее распространенный вид механических колебаний, обусловленный работой машин и агрегатов. Колебания в механических системах передаются от дорожной поверхности как через элементы конструкции на находящихся в салоне водителя и пассажира, так и через грунт, воздействуя на инженерные сооружения, окружающую среду и человека.

Вибрация транспорта может приводить к нарушению функционирования техники и вызывать серьезные аварии. Установлено, что вибрация является причиной 80 % поломок и аварий [10]. В частности, она приводит к снижению технико-эксплуатационных характеристик автотранспорта.

Вследствие движения автотранспорта вибрация может оказывать разностороннее воздействие на людей, находящихся в непосредственной близости от источника, ухудшая их самочувствие и снижая работоспособность. Также вибрационная нагрузка оказывает отрицательное воздействие на физиологические функции и системы организма человека, на нервно-мышечную систему, а также на работу мозга. Восприятие человеком вибрации зависит от частоты колебания, силы и амплитуды. Вибрация характеризуется сектором по колебательной скорости, единица измерения — см/с или дБА. В соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий», пороговой величиной вибрации условно принята скорость $5 \cdot 10^{-6}$ см/с.

За последнее время борьба с вибрацией, так же как и борьба с шумом, стала необходима для улучшения акустического режима.

Влияние транспорта на экологическое состояние городского пространства сводится не только к негативному воздействию на атмосферный воздух, но и к загрязнению водного бассейна (в частности, ливневыми стоками с автомобильных моек, стоянок, гаражей, АЗС и др.) и почвы (отходы, загрязненные нефтепродуктами, сажевые частицы шин от истирания на дорогах и др.) [11].

Загрязнение поверхностных вод транспортными отходами проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха, появлении радиоактивных элементов. Установлено, что более 400 видов веществ, выделяемых при работе автотранспорта, могут вызвать загрязнение вод [12]. В случае превышения допустимой нормы хотя бы по одному из трех показателей вредности — санитарно-токсикологическому, общесанитарному или органолептическому — вода считается загрязненной.

К основным причинам, способствующим серьезному загрязнению водных объектов, можно отнести то, что в городах большая часть машин находится на открытых площадках, нет достаточного количества крытых парковок и гаражей. Кроме того, недостаточно развита сеть правильно оборудованных ремонтных и обслуживающих служб для личных автомобилей, что заставляет людей производить ремонт и техническое обслуживание в организациях, не заботящихся об экологических последствиях. В качестве примера можно предложить частные мойки или несанкционированные площадки для мойки автомобилей. В них не всегда грамотно предусмотрен отвод сточных вод.

Ливневые сточные воды с поверхности автомагистралей, площадок АЗС, с территории автотранспортных и авторемонтных предприятий также являются мощным источником загрязнения водных бассейнов в городской местности нефтепродуктами, фенолами и легкоокисляющимися органическими вещества-

ми. Поступление со стоками тяжелых металлов и токсичных веществ резко ограничивает потребление и использование водных ресурсов [13].

Изучение влияния вредных факторов на городскую среду является весьма актуальной темой для современных развивающихся городов. Исследование данного вопроса позволит решить ряд экологических проблем, которые волнуют жителей по сегодняшний день.

В последние годы значительно активизировались процессы экологизации транспорта. Переход на альтернативные, более экологически чистые виды транспорта, отвечающие современным требованиям по комфортности, энергетике, их интеграция с развивающимся традиционным транспортом — все это является одним из основных направлений в экологической политике России в целом. Эти тенденции как никогда актуальны и во всем мире.

Для предотвращения/уменьшения негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду крупных и крупнейших городов разрабатывается ряд мероприятий. Для начала необходимо экологизировать сам источник негативного воздействия — транспортный комплекс.

Следует разделить на две группы существующие мероприятия по совершенствованию транспортного комплекса.

1. Мероприятия первой группы носят организационный характер и включают организацию дорожного движения, режимы движения транспорта, повышение уровня эффективности использования индивидуального транспорта (увеличение числа пассажиров в поездке, ограничение числа поездок), рациональное распределение транспортных потоков по существующей улично-дорожной сети [14].

Минимизирование частых ускорений и торможений транспортных средств достигается за счет строительства подземных и надземных пешеходных переходов, строительства скоростных дорог, изолированных от городской застройки, автомобильных развязок в разных уровнях, а также за счет увеличения времени «зеленой волны» на существующих магистралях города.

Надо отметить, что благоприятные дорожные условия, например уменьшение продольных уклонов, также положительно сказываются на экологии городской среды.

2. Вторая группа мероприятий направлена на улучшение технического состояния транспортного средства, применение дополнительных средств снижения токсичности.

Большое влияние на выбросы токсичных веществ оказывает техническое состояние подвижного состава. Неисправный или неотрегулированный транспорт загрязняет атмосферу в значительно большем объеме. Более высокий уровень технической эксплуатации автомобилей обеспечивает заметное снижение загрязнения городской среды.

Мероприятия по снижению негативного воздействия на городскую среду связаны с необходимостью осуществления сложных технических и организационных процессов в сфере технической эксплуатации транспорта:

разработки методов и технологических процессов в сфере технической эксплуатации автомобильного транспорта;

совершенствования технико-эксплуатационных свойств подвижного состава;

разработки и внедрения на автомобильном транспорте малотоксичных и нетоксичных видов топлива.

Учитывая тенденции нового времени, следует обратить внимание на альтернативные, более экологически чистые виды транспорта. Такой вид транспорта отвечает современным требованиям по комфортабельности и энергетике. На сегодняшний день к наиболее экологичным видам городского транспорта можно отнести железнодорожный транспорт, трамваи, троллейбусы, электромотоциклы и, конечно, велосипедный транспорт.

Каждый из перечисленных видов транспорта оказывает минимальное негативное влияние на окружающую среду или вообще не оказывает его. Многие эксперты сходятся во мнении, что наиболее экологически чистым видом транспорта в настоящее время во всем мире являются железные дороги. В России около 40 % пассажирооборота приходится именно на этот сектор, в то время как железные дороги производят не более 2 % всего объема парниковых газов в стране [15].

Что касается городского электрического транспорта, то современные трамваи и троллейбусы стали быстрыми, комфортабельными и практически бесшумными.

Для многих людей передвижение на личном автотранспорте является неотъемлемой частью жизни, поэтому для таких случаев разработаны электромотоциклы. К плюсам электронного вида транспорта можно отнести следующее. Во-первых, они гораздо эффективнее автомобилей, которые ездят на бензине. В среднем электрокар преобразует в механическую около 60 % электрической энергии. В то же время машина на бензине использует топливо с эффективностью в 17...20 % [16]. Во-вторых, такие транспортные средства просто идеальны с точки зрения экологии. Они не загрязняют окружающую среду опасными выхлопными газами, а производство «топлива» для них не требует опустошения природных запасов нефти.

Использование велосипедного транспорта также имеет целый спектр преимуществ: велосипедный транспорт обеспечивает мобильность для всех граждан, вне зависимости от возраста и дохода;

способствует укреплению здоровья;

не требует существенных затрат и выгоден экономически;

экологичен, не производит шума и не требует больших площадей для передвижения и парковок.

Развитие велосипедного транспорта как составной части городской транспортной политики позволит не только смягчать и устранять нарастающие негативные эффекты, но и приносить ощутимые финансовые выгоды государству, решая при этом проблему загрязнения окружающей среды.

Наряду с решением экологической безопасности самого транспортного комплекса должны осуществляться мероприятия, направленные на защиту окружающей среды и населения путем применения различных сооружений и зеленых насаждений.

При планировке жилого района должны быть предварительно определены уровни воздействия на жилую территорию и с учетом полученных значений учтены следующие меры:

возможность размещения шумозащитных экранов в виде естественных или искусственных элементов рельефа местности (откосы выемок, насыпи), в виде искусственных сооружений (стенки, галереи и т. д.), а также возможно комбинированное применение; подобные сооружения помогут снизить уровень шума до 20 дБА [17];

использование зданий-экранов, в качестве которых выступают здания нежилого значения: торговые центры, гаражи, предприятия коммунально-бытового обслуживания, а также использование жилых и административных зданий, которые при этом были бы обеспечены средствами шумопоглощения и звукоизоляции. Такой вид экрана является самым эффективным, с учетом расположения зданий вдоль магистральных улиц ввиду сплошной застройки. Величина снижения уровня звука может достигать 25...30 дБА;

использование в качестве барьера для проникновения шума и рассеивания загрязняющих веществ на жилую территорию зданий, в которых на фасаде, обращенном в сторону оживленной проезжей части, установлены шумозащитные окна, снабженные специальным вентиляционным устройством; при таком виде защиты от шума уровень звука можно снизить примерно до 30 дБА.

Шумозащитные экраны можно использовать в условиях уже застроенной территории, они будут поглощать/подавлять шумы и являться преградой на пути распространения отработавших газов автомобилей.

Такие сооружения имеют различные конструкции. Например, для увеличения эффективности экрана его поверхность обрабатывают материалами с высоким звукопоглощением или устанавливают на верхнем ребре экрана специальные конструктивные элементы, служащие для увеличения рассеивания и поглощения звуковой волны [18].

Как уже отмечалось, еще одним из методов снижения негативного воздействия на окружающую среду является озеленение территорий. Так, на распространение шума в приземном пространстве большое влияние оказывают зеленые насаждения. Установлено, что зеленые насаждения являются эффективным препятствием на пути распространения шума, выхлопных газов и скапливающейся на дорожном покрытии пыли. Но это зависит от плотности дендрологического состава и конструкции посадок. В зеленых насаждениях звуковые волны, наталкиваясь на препятствия (листья, ветки, хвою и стволы), изгибаются, отражаются и поглощаются. Таким образом, малое количество озеленения влечет за собой неблагоприятные условия для жизни населения. Из-за невозможности создания дополнительных полос озеленения на улицах района видится возможным использовать вертикальное озеленение фасадов, что позволит снизить негативное воздействие на городскую среду.

Таким образом, проведенная оценка влияния транспортного комплекса на состояние городской среды показывает, что данное влияние весьма негативно, в связи с чем необходимо разработать и реализовать комплекс мероприятий по уменьшению вредного воздействия при функционировании транспортного комплекса на окружающую среду и человека. В данный комплекс должны входить градостроительные, правовые и экономические мероприятия. Такой комплекс должен помочь частично или полностью снизить уровни воздействия негативных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экологическое развитие городов: учеб. пособ. / Н. Н. Самойленко, В. Б. Байрачный, В. П. Шапоров и др.; под ред. Н. Н. Самойленко. Харьков: Щедра сабина плюс, 2015. С. 220.
2. Елсукова Е. А., Косильникова Ю. А. Транспортная проблема крупного города // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по материалам XV международ. студ. науч.-практ. конф., г. Чебоксары, 6 октября 2017 г. Чебоксары, 2017. № 15. URL: [http://sibac.info/archive/technic/9\(12\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/9(12).pdf)
3. Мирзоева Ф. М., Шекихачева З. З. Проблемы экологической обстановки на автомобильном транспорте в Российской Федерации // Фундаментальные исследования. 2014. № 11—12. С. 2665—2668. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36042>
4. Хегай Ю. А. Проблемы экологической обстановки на автомобильном транспорте в Российской Федерации // Теория и практика общественного развития. 2014. Вып. 2. С. 385—388.
5. Стеценко С. Е. Характеристика пыли как источника загрязнения среды. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы XI международ. науч. конф., г. Ханой, 23 марта — 05 апреля 2013 г. Ханой, 2013. С. 59—63.
6. Баздырев Е. Д., Барбараиш О. Л. Экология и сердечно-сосудистые заболевания // Экология человека. 2014. № 5. С. 53—59.
7. Коростелева Н. В. Оценка шумового режима прилегающих территорий города Волгограда и разработка рекомендаций по созданию оптимальных условий проживания // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 240—243.
8. Коростелева Н. В. Анализ степени влияния различных факторов на уровень шума городских магистралей // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международ. конф., посвящ. 60-летию образования вуза, г. Волгоград, 18—19 сентября 2012 г.: в 2-х ч. Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. С. 190—194.
9. Половинкина Ю. С. Шумовое загрязнение окружающей среды урбанизированных территорий (на примере города Волгограда) // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 76(02). С. 1—10.
10. Давиденко Д. М. Анализ и решение проблем снижения шума и вибрации автомобилей // Лучшая научная статья-2016: сб. ст. победителей IV международ. науч.-практ. конкурса. Пенза: Наука и просвещение, 2016. С. 63—65.
11. Сухачева М. П. Негативное влияние транспорта на состояние окружающей среды на примере города Волгограда // XIX всерос. студ. науч.-практ. конф. Нижневарт. гос. ун-та: сб. ст., г. Нижневартовск, 4—5 апреля 2017 г.; в 2-х ч. Нижневартовск: НВГУ, 2017. С. 245—248.
12. Мадиевский А. В., Власов Е. В., Каймакова Е. М. Возможные пути решения проблемы снижения негативного влияния человеческого фактора в чрезвычайных ситуациях на транспорте // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. СПб.: ВЦЭРМ им. А. М. Никитина, 2015. С. 108—114.
13. Дегодя Е. Ю., Мальцева Е. В. Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду // Современные проблемы транспортного комплекса России. Т. 6. № 1(7). Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 2016. С. 34—37.
14. Ковалева Т. Н. Транспортные проблемы современного города в контексте модернизации городского пространства // Гуманитарные и социальные науки. 2013. Вып. 4. С. 26—34.
15. Экологический рейтинг транспорта в России: от самолета до самоката // Официальный сайт РИА Новости. URL: <https://ria.ru/eco/20130920/964748301.html>
16. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. М.: Транспорт, 1979. С. 198.
17. Желтакова А. Х. Возникновение транспортного шума и мероприятия по его снижению // Вестник КАСУ. 2010. Вып. 4. Социально-политические и правовые проблемы образования и общества. С. 35—40.
18. Асминин В. Ф., Корда В. Ю. Анализ путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта // Научный журнал строительства и архитектуры. 2010. Вып. 4. С. 141—145.

© Сухачева М. П., Коростелева Н. В., 2018

Поступила в редакцию
в декабре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Сухачева М. П., Коростелева Н. В. Оптимизация транспортной инфраструктуры крупнейших городов как метод создания экологически благополучной городской среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 110—119.

Об авторах:

Сухачева Марина Павловна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, m.sukhacheva@mail.ru

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, korostelevanv@mail.ru

M. P. Sukhacheva, N. V. Korosteleva

OPTIMIZATION OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE LARGEST CITIES AS A METHOD TO CREATE THE ENVIRONMENTALLY FRIENDLY URBAN ENVIRONMENT

The article deals with the problems of transport infrastructure in large cities. The main factors of negative impact of vehicles are identified. The assessment of their influence on the urban environment and the population is given. To reduce the negative impact, the authors propose a set of measures, the application of which is possible in the current urban area.

Key words: urban environment, grade index of ecological well-being, index of sustainable urban development, air pollution, electric transport.

For citation:

Sukhacheva M. P., Korosteleva N. V. [Optimization of the transport infrastructure of the largest cities as a method to create the environmentally friendly urban environment]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2018, iss. 51(70), pp. 110—119.

About authors:

Sukhacheva Marina Pavlovna — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, m.sukhacheva@mail.ru

Korosteleva Nataliya Vladimirovna — 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, korostelevanv@mail.ru

УДК 691.168

С. Ю. Шеховцова^а, М. А. Высоцкая^б

^а *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

^б *Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

НАНОРАЗМЕРНЫЙ МОДИФИКАТОР КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОЛЕЕСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ОТ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Рассмотрены аспекты, связанные с пластической колеей, образование которой напрямую зависит от свойств вяжущего в составе асфальтобетона. Произведена оценка влияния первичных углеродных наноматериалов на показатели качества полимерно-битумного вяжущего в сравнении с производственным образцом традиционного вяжущего, включающим в свой состав сшивающие агенты, и изучено их влияние на устойчивость асфальтобетона типа Б к колееобразованию. Определен физический смысл эмпирических коэффициентов математической модели, описывающей образование колеи. Для количественной оценки срока службы покрытия с применением разработанного решения использовалась расчетная методика, изложенная в ДМД 02191.2.051-2012. Определение расчетного срока службы осуществлялось по критериям устойчивости к пластическим деформациям.

К л ю ч е в ы е с л о в а: одностенные углеродные нанотрубки, полимерно-битумное вяжущее, асфальтобетон, колеестойкость.

В настоящее время одной из наиболее актуальных эксплуатационно-транспортных проблем является повышение сдвигоустойчивости и колеестойкости асфальтобетона в дорожных и аэродромных покрытиях. Асфальтобетонные покрытия транспортных сооружений не могут быть ни абсолютно трещиностойкими, ни сдвиго- и колеестойкими. Это обусловлено структурной чувствительностью асфальтобетона к внешним агрессивным факторам среды, что на фоне протекающих деградиационных процессов от механических воздействий интенсивного транспортного потока способствует изменению его вяжущей части и, как следствие, пластичности асфальтобетона, что, в свою очередь, приводит к нарушению сплошности структуры — трещинообразованию, а также к потере деформационной устойчивости — сдвигам, наплывам, колеиности и т. д.

Колея на поверхности асфальтобетонного покрытия может образовываться под действием транспортных нагрузок по нескольким не зависящим друг от друга причинам: сдвиговое необратимое деформирование верхнего и нижнего слоев покрытия; необратимое деформирование нижележащих слоев основания и грунта земляного полотна; неравномерный износ и случай недоуплотнения покрытия [1].

В зарубежных источниках [2, 3] производится разделение процесса колееобразования на три типа колеи: абразивная, пластическая и колея по всей толщине. В случае, когда общая прочность дорожной одежды не соответствует фактическим нагрузкам, воздействующим на дорогу, колея образуется по всей толщине. В случае соответствия общей прочности дорожной одежды возникает проблема пластических деформаций на покрытии, и частным случаем образования колеи является абразивная или колея истирания.

Для устранения пластической колеи зарубежными и российскими исследователями [3, 4] рекомендуется применение многощебенистых плотных асфальтобетонов, а также других видов асфальтобетона, обладающих высокими показателями сдвигоустойчивости и способностью сопротивляться накоплению остаточных деформаций.

Сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий определяется реологией битумных вяжущих и их теплостойкостью. Одним из доступных и широко распространенных способов направленного улучшения сдвигоустойчивости дорожного композита является модифицирование вяжущих различными добавками, и в первую очередь полимерными [5—8].

Повышенная устойчивость покрытий на полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) к пластическим деформациям и колееобразованию обусловили популярность этого вида вяжущего в дорожно-строительных отраслях многих европейских государств [9—11].

В Российской Федерации этот сегмент рынка битумных материалов является относительно молодым, но динамично развивающимся. Драйвером такого поступательного движения является развитие транспортной стратегии РФ, направленной на ужесточение требований к сырьевым и композиционным материалам, строительству, а также внедрение контрактов жизненного цикла для объектов автомобильных дорог постановлением Правительства РФ от 28.11.2013 г. № 1087.

Обозначенные факторы стимулирует отраслевую науку нарабатывать и расширять способы повышения качества органических вяжущих. Перспективным направлением в этой области является использование технологии наномодифицирования вяжущих первичными углеродными наноматериалами (УНМ), применение которых позволяет улучшить результативность частных случаев макромодифицирования [12, 13] и ингибировать их недостатки [14—18].

В работе произведена оценка влияния первичных углеродных наноматериалов на показатели качества ПБВ и изучено влияние наномодифицированного вяжущего на устойчивость к колееобразованию асфальтобетона типа Б. В качестве объектов исследования использовались: битум нефтяной дорожный БНД 90/130 производства ООО «Московский НПЗ», полимер класса термоэластопластов ДСТ-30Р-01 производства АО «Воронежсинтезкаучук», органический пластификатор — индустриальное масло марки И-40; исходный материал одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), синтезированный в РАН, г. Черноголовка, полученный методом термического испарения графита в присутствии Ni-Cr-катализатора в электрической дуге (Arc ОУНТ). Немаловажным аспектом при выборе пластифицирующей среды в пользу индустриального масла является возможность оценки равномерного распределения УНМ в его объеме, совместимость с исследуемым компонентным составом, а также высокая технологичность работы с ним [17].

Опираясь на исследования, выполненные ранее [17, 18], где были подобраны оптимальные и эффективные режимы диспергирования и равномерного распределения ОУНТ в объеме матрицы модифицированного вяжущего на основе битума БНД 60/90, а также установлен оптимальный диапазон концентраций, в котором прослеживалась эффективность от введения УНМ в состав ПБВ, была принята концентрация ОУНТ, равная $2 \cdot 10^{-3} \%$.

Варьируя указанным компонентным составом, подготовили образцы ПБВ-60. За контрольный образец было принято производственное вяжущее с содержанием полимера 4,5 %. Для того чтобы упростить исследуемую модель, было принято решение варьировать двумя компонентами — полимером и наномодификатором. Содержание пластификатора было предварительно подобрано при условии соответствия его свойств требованиям ГОСТ 52056-2003, с содержанием полимера 4,5 — аналогично производственному вяжущему. Приготовление образцов ПБВ осуществляли по стандартной технологии, перемешивание производили на лопастном смесителе, последующее дозревание осуществляли в сушильном шкафу.

Разработанные лабораторные составы ПБВ-60 (№ 2—4) и производственный контрольный образец (№ 1) представлены в табл. 1, их физико-механические показатели представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Составы исследуемых образцов вяжущих

Компонент	Образцы ПБВ			
	1	2	3	4
ОУНТ, %	—	—	0,002	0,002
ДСТ-30Р-01, %	4,5	4,5	2,8	3,2
Пластификатор, %	—	2,0	2,0	2,0
Битум, %	100*	100	100	100

Примечание: * — подготовленное вяжущее, включающее в свой состав пластифицирующие и сшивающие компоненты.

Как видно из табл. 2, состав № 2 с содержанием полимера, аналогичным производственному составу (4,5 %), уступает ему в теплостойкости, эластичности и адгезионном сцеплении, что свидетельствует о недостаточной прочности «сетки», сформированной полимером в дисперсионной среде битума, и о необходимости использования в его составе дополнительных упрочняющих компонентов. В производственном вяжущем эту роль выполняют сшивающие агенты, что обеспечивает улучшение показателей свойств, но не позволяет сократить содержание дорогостоящего полимера. Между тем введение упрочняющего наномодификатора ОУНТ в состав ПБВ (№ 4) по разработанной технологии [17] с предварительным распределением в среде прекурсор перед введением в вяжущее приводит к закономерному улучшению характеристик исследуемых вяжущих, что обеспечивает достижение, а в некоторых случаях и преобладание заданных параметров свойств (теплостойкость 10 %, эластичность при 25 °С — 5 %) над параметрами производственного вяжущего (№ 1) при содержании полимера 3,2 %, что на 29 % ниже значения производственного вяжущего.

Принято считать, что использование в составе ПБВ пластификатора пагубно отражается на его адгезионных свойствах. Поэтому представляло интерес изучение изменения адгезионных свойств ПБВ от модифицирования, в составе которого есть пластификатор. Адгезионное сцепление оценивалось

по пятибалльной шкале при кипячении каменных материалов, различных по основности (см. табл. 2). Как видно, производственное вяжущее (состав № 1) соответствует предъявляемым требованиям, но стоит отметить, что эти значения пограничны. Введение наноразмерных объектов (состав № 4) позволяет обеспечить запас адгезионного сцепления вяжущего со всеми минеральными материалами независимо от основности.

Таблица 2

Показатели свойств исследуемых вяжущих

Показатель	ГОСТ 52056-2003, ПБВ-60	Исходный битум 90/130	Образцы вяжущих ПБВ-60, номер состава			
			1	2	3	4
Глубина проникания иглы 0,1 мм, не менее:						
при 25 °С	60	94	65	67	68	66
при 0 °С	32	44	35	33	34	35
Растяжимость, см, не менее:						
при 25 °С	25	72	68	65	56	72
при 0 °С	11	20	34	16	20	41
Температура размягчения, °С, КиШ, не ниже	54	47	68	65	61	75
Температура хрупкости T_{xp} по Фраасу, не выше	−20	−19	−23	−20	−23	−24
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более	5	5	3	4	1	1
Адгезия в баллах:						
к граниту	—	4	4	3	5	
кварцитопесчанику		3	4	3	5	
известняку		4	5	4	5	
Однородность	Однородно	—	Однородно			
Эластичность, %, не менее:						
при 25 °С	80	—	92	89	95	98
при 0 °С	70		75	74	87	92

Следующим этапом исследования была оценка способности модифицированного вяжущего в совокупности с минеральным остовом асфальтобетона эффективно функционировать в покрытии автомобильных дорог и сопротивляться негативным внешним факторам.

Современным методом испытания, имитирующим реальные условия работы дорожного полотна, накапливающим остаточные деформации под действием транспортной нагрузки, является определение устойчивости асфальтобетона образованию колеи на лабораторной установке InfraTest 20-4000. Для этого в секторном уплотнителе (роллерный компактор) InfraTest 20-4030 были подготовлены специальные образцы-плиты асфальтобетона типа Б по стандартной методике ЕС EN 12697-22 с одинаковым содержанием вяжущего. В качестве

вяжущего использовали исследуемые образцы ПБВ (№ 1 — № 4). Методика заключается в изучении колеи на асфальтобетонной плите, образующейся при многократном движении колеса, имитирующего автомобильное, с заданной вертикальной нагрузкой. Испытания образцов производилось в водной среде при температуре 60 °С. Для оценки полученных результатов проводилось измерение глубины колеи, соответствующей 20 000 прохода колеса.

Многочисленными исследованиями [1—3, 19] было подтверждено, что применение данного метода позволяет прогнозировать поведение асфальтобетонных в реальных условиях эксплуатации и оценить свойства материала, которые затруднительно оценить при испытании однократной разрушающей нагрузкой. Таким образом появляется возможность установить эффективность модифицирования асфальтобетона, который будет характеризоваться наибольшей устойчивостью к образованию колеи.

Результаты экспериментальных исследований по изучению колееустойчивости асфальтобетонных образцов к возникновению пластических деформаций представлены на рис. 1. Номера графиков на рисунке соответствуют номерам составов в табл. 2.

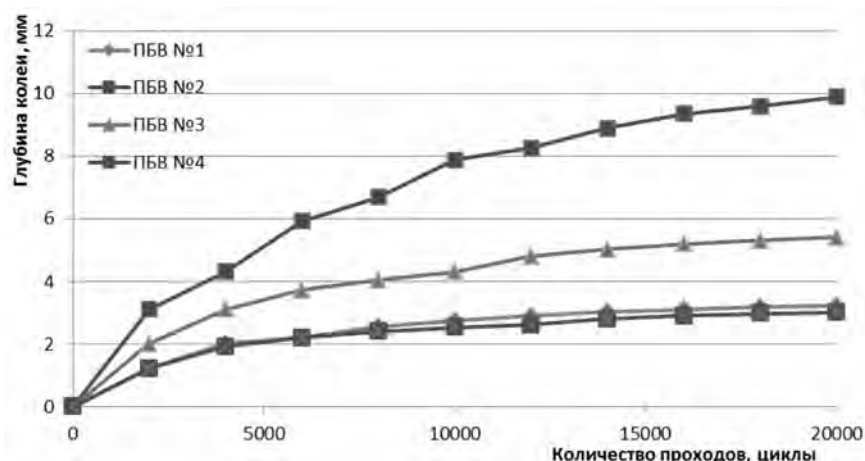


Рис. 1. Колееустойчивость асфальтобетона типа Б на ПБВ разного состава

В экспериментально-статическом моделировании в части выбора общего вида аппроксимирующей функции необходимо выполнение формальных операций [20]. Формальный выбор общего вида экспериментально-статической модели колееобразования на основании значений дисперсии адекватности зачастую приводит к моделям, не отражающим физико-механические и реологические особенности исследуемого материала.

Как известно, процесс образования колеи происходит в три этапа: доуплотнение; образование колеи вследствие пластических деформаций; разрушение асфальтобетона. Поэтому для полученных эмпирических зависимостей была выбрана экспоненциальная модель, представленная в работе [21], которая наиболее точно описывает изменения, происходящие в материале, при изучении его устойчивости к колееобразованию. Выбранная модель учитывает следующие принципы: скорость колееобразования на начальном этапе — ко-

нечная положительная величина, не зависящая от номера прохода; для рассматриваемых в эксперименте проходов колеса существует наклонная асимптота $y = k_{\infty}x + b_{\infty}$; на завершающей стадии доуплотнения материала происходит стабилизация скорости колееобразования.

Совокупность указанных факторов составляют замкнутую систему, которой удовлетворяет трехпараметрическая зависимость:

$$H = H(N) = a \left(\frac{2}{1 + e^{-bN}} - 1 \right) + cN, \quad (1)$$

где $H(N)$ — глубина колеи после N -го прохода; a, b, c — эмпирические коэффициенты, определяемые на основе эксперимента, параметры модели.

Расчетное значение параметров модели $H(N)$ представлено в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Значения параметров модели $H(N)$

Образцы асфальтобетона типа Б на основе	Значение эмпирических коэффициентов		
	a	b	c
ПБВ № 1	2,190	0,534	0,055
ПБВ № 2	5,817	0,380	0,212
ПБВ № 3	3,289	0,574	0,113
ПБВ № 4	2,022	0,611	0,052

Анализ зависимостей глубины колеи образцов асфальтобетона, приготовленных на основе различных ПБВ, от количества проходов колеса (циклов) (см. рис. 1) и уравнений их аппроксимации позволил установить, что коэффициент a характеризует величину максимальной глубины колеи; коэффициент b — длительность стадии доуплотнения асфальтобетона в процессе эксплуатации; коэффициент c — скорость образования колеи после завершения этапа доуплотнения.

Из представленных данных (см. табл. 3) видно, что образец асфальтобетона типа Б, приготовленный на основе лабораторного состава ПБВ (№ 2), несмотря на значительное содержание полимера (4,5 %), показал наихудший результат и характеризуется наибольшей глубиной и скоростью образования колеи. Наименьшей величиной глубины, а также наименьшей скоростью образования колеи характеризуются образцы асфальтобетона на основе производственного образца ПБВ (№ 1), содержащего в своем составе сшивающие агенты, и на основе наномодифицированного вяжущего (№ 4). Полученные результаты позволяют сделать вывод о недостаточности действия полимерного модификатора для обеспечения сопротивления структуры материала образованию дефектов от пластических деформаций.

Опираясь на полученные результаты по устойчивости асфальтобетонов к колееобразованию от пластических деформаций, можно предположить, что применение наномодифицированных асфальтобетонов при устройстве покрытий автомобильных дорог будет способствовать увеличению бездефектной службы автомобильной дороги.

Для количественной оценки срока службы покрытия с применением разработанного решения использовалась расчетная методика, изложенная в ДМД 02191.2.051-2012. Определение расчетного срока службы осуществляется по критериям устойчивости к пластическим деформациям. Рассчитывается исходя из условия проявления критических пластических деформаций по формуле

$$T_{\text{пласт}} = K_{\text{усл}} H_{\text{кр}} / H_1 I_{\text{расч}} T_{60}, \quad (2)$$

где $K_{\text{усл}}$ — коэффициент условий движения; для стесненных условий движения (мосты, путепроводы, тоннели) принимается равным 1,0, в остальных случаях 1,3; $H_{\text{кр}}$ — критическая деформация (допустимая глубина колеи), м, принимается по ГОСТ Р 50597-93; H_1 — величина пластической деформации (глубина колеи), м, после одного цикла воздействия колесной нагрузки при температуре 60 °С; $I_{\text{расч}}$ — интенсивность движения по полосе расчетных автомобилей, авт./ч; определяется по результатам наблюдений за конкретным участком автомобильной дороги; в случае отсутствия наблюдений интенсивность движений расчетного автомобиля принимается по СП 34.13330.2012; T_{60} — количество часов в году с температурой покрытия 60 °С и выше, ч/год; определяется по данным метеостанции в каждом конкретном регионе.

Для рассматриваемых решений были приняты коэффициенты, представленные в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты для расчета срока службы покрытия

Коэффициент	Составы полимерасфальтобетонных смесей на вяжущих			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
$K_{\text{усл}}$	1,3	1,3	1,3	1,3
$H_{\text{кр}}$, м	0,05	0,05	0,05	0,05
H_1 , м	$28 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$	—
$I_{\text{расч}}$ *, авт./ч	250	250	250	250
T_{60} , ч/год	230	230	230	230

Примечание: $I_{\text{расч}}$ * — взято значение для III категории дороги, при устройстве которой используют исследуемый тип асфальтобетона — тип Б, марка П.

Результаты расчета бездефектного срока службы покрытия автомобильной дороги по пластическим деформациям (см. формулу (2)), выполненного с применением исследуемых решений (см. табл. 1) и принятых коэффициентов (см. табл. 3), представлены на рис. 2.

Из представленных результатов видно, что наименьшее значение (7 лет) расчетного бездефектного срока службы соответствует образцу асфальтобетона на основе лабораторного состава ПБВ № 2 с содержанием полимера 4,5 %. Наилучшие результаты характерны для образцов асфальтобетона на основе производственного образца ПБВ № 1 (13 лет), в составе которого дополнительно присутствуют сшивающие агенты, и на основе наномодифицированного ПБВ № 4 (14 лет).

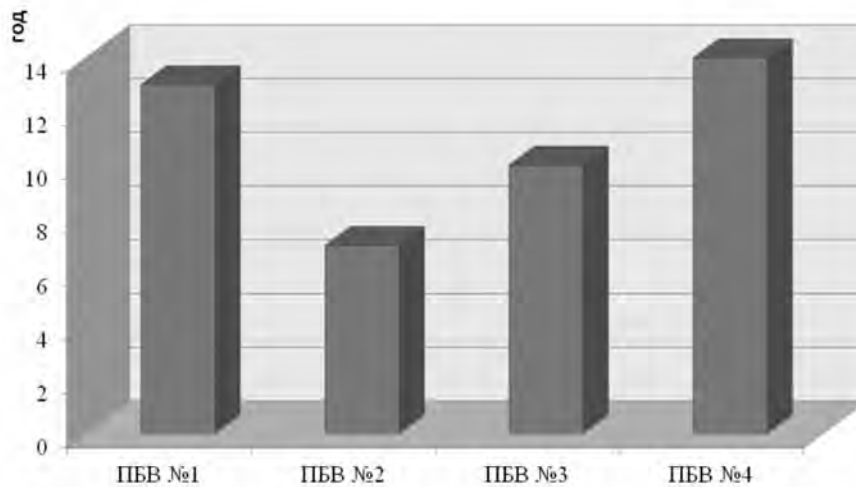


Рис. 2. Зависимость изменения расчетного срока службы покрытия от используемого решения

В данной работе рассмотрен случай соответствия общей прочности дорожной одежды, когда основная проблема заключается в пластических деформациях на покрытии. Полученные результаты позволяют сделать вывод о недостаточности использования в составе ПБВ одного модифицирующего компонента (полимера) для обеспечения устойчивости к образованию колеи от пластических деформаций — необходимо введение дополнительных упрочняющих компонентов: сшивающих агентов, первичных наноматериалов. Было установлено, что введение одностенных углеродных нанотрубок в лабораторный состав вяжущего (ПБВ № 4) позволяет не только достичь свойств производственного вяжущего, но и улучшить их: теплостойкость — на 10 %, эластичность при 25 °С и 0 °С на 6 % и 23 % соответственно при одновременном сокращении содержания полимера. Наблюдаемые изменения свойств закономерно отразились на устойчивости асфальтобетона к колееобразованию: состав ПБВ (№ 2), несмотря на значительное содержание полимера (4,5 %), показал наихудший результат и характеризуется наибольшей глубиной (9,89 мм) и скоростью образования колеи. Наименьшей глубиной, а также наименьшей скоростью образования колеи характеризуются образцы асфальтобетона на основе производственного образца ПБВ (№ 1) — 3,2 мм, содержащего в своем составе сшивающие агенты, и на основе наномодифицированного вяжущего (№ 4) — 3 мм, что способствовало увеличению расчетного срока (по критериям пластических деформаций) службы покрытия автомобильной дороги, выполненной с использованием разработанных решений (ПБВ № 4) до 75 %. Преимуществом использования первичного наномодификатора (ОУНТ) является возможность сокращения содержания дорогостоящего полимера на 29 %.

Однако стоит отметить, что причина образования колеи, как правило, является комплексной, и можно выделить лишь преобладающий фактор в процессе образования колеи. Для эффективной борьбы с колееобразованием необходимо

учитывать все факторы и применять комплексные меры для предотвращения образования колеи. К ним относятся как совершенствование методов проектирования асфальтобетона и дорожной конструкции в целом, так и ограничение на движение транспорта с высокими осевыми нагрузками, а также на использование шипованной резины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюхин Г. Н. Устойчивость к колееобразованию покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона. Астана, 2007. С. 20—25.
2. Powers M. B. Asphalt test track speeds up time enr. 2000. Vol. 245. Iss. 18. P. 12.
3. Huang H., Tutumluer E., Shen S. Moving load on track with asphalt trackbed // *Vehicle System Dynamics*. 2010. Vol. 48. Iss. 6. Pp. 737—749.
4. Поздняков М. К. Влияние свойств асфальтобетонных смесей на сопротивляемость колееобразованию // *Строительные материалы*. 2011. № 10. С. 22—25.
5. Rozental' D. A., Ivanova E. S. Prediction of properties of asphalt oil in asphaltic concrete // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2002. Vol. 75. Iss. 7. Pp. 1198—1199.
6. Гохман Л. М. Эффективность полимера // *Автомобильные дороги*. 2012. № 1. С. 38—44.
7. Tajdini M., Mahinroosta R., Taherkhani H. An investigation on the mechanical properties of granular materials in interface with asphaltic concrete // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 62. Pp. 85—95.
8. Полякова В. И., Полякова С. В. Особенности получения и применения полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве // *Дороги и мосты*. Т. 1. № 29. 2013. С. 277—298.
9. Saglik A., Gungor A. G. Evolution of performance grades and polymer dispersion of polymer modified binders // *Turkish Highways Research and Development Department: Proceedings of 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Istanbul, 2012. P. 8.
10. Mechanical properties of the composite material based on modified scrap tires and polymer binder / R. Plesuma, A. Megne, I. Mateusa-Krukke, L. Malers // *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*. 2013. Vol. 29. Iss. 3. Pp. 177—187.
11. Bala N., Kamaruddin I. Physical and storage stability properties of linear low density polyethylene at optimum content // *Engineering Challenges for Sustainable Future: Proceedings of the 3rd International Conference on Civil, offshore and Environmental Engineering, ICCOEE 2016*. 2016. Pp. 395—400.
12. Проконец В. С. Битумные композиции с добавкой агрегатов наночастиц // *Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века*. 2012. № 5. С. 16—17.
13. Influence of nanoparticles modification on the properties of bitumen / Shaopeng Wu, Gang Liu, Jingang Wang, Yuan Zhang // *Materials Science Forum*. 2009. Vol. 614. Pp 197—200. URL: www.scientific.net
14. Quintero L., Sanabria S., Luis E. Analysis of colombian bitumen modified with a nanocomposite // *Journal of Testing and Evaluation (JTE)*. Vol. 40. Iss. 7. Pp. 367—374.
15. Production of polymer papers modified with carbon nanotubes and nonionic surfactants / S. A. Bogdanova, A. O. Ebel', A. R. Gataoullin, I. M. Zakirov, Y. G. Galyametdinov // *Nanotechnologies in Russia*. 2014. Vol. 9. Iss. 11—12. Pp. 630—637.
16. Development and properties of new nanomodifiers for road pavement / V. G. Nikol'skii, T. V. Dudareva, I. A. Krasotkina, U. G. Zvereva, V. G. Bekeshev, V. Y. Rochev, A. M. Kaplan, N. I. Chekunaev, L. V. Vnukova, N. M. Styrikovich, I. V. Gordeeva // *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2014. Vol. 8. Iss. 4. Pp. 577—583.
17. Ysotskaya M., Kuznetsov D., Rusina S. Nanostructured polymeric component for polymer bitumen binder // *ARSA-2012: Virtual International Conference on Advanced Research in Scientific Fields*, 12. Industrial and Civil Engineering paper ID: 1422. URL: <http://www.arsa-conf.com>
18. Ysotskaya M. A., Shekhovtsova S. Y., Kindeev O. N. The destruction of polymer modified binder and prescription factors her determining International // *Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol. 8. Iss. 3. Pp. 18200—18211.
19. Исследование влияния модифицирующих добавок в битум на физико-механические свойства и колееустойчивость мелкозернистого асфальтобетона / В. К. Жданюк, О. А. Мо-

карчев, Р. Б. Шрестха, Д. Ю. Костин, А. А. Воловик // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2012. № 58. С. 130—133.

20. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей : учебник для вузов. 6-е изд., стер. М.: Высшая школа, 1999. 557 с.

21. *Гладких В. А., Королев Е. В., Хусид Д. Л.* Стойкость сероасфальтобетонов к образованию колес // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 70—78.

© *Шеховцова С. Ю., Высоцкая М. А., 2018*

*Поступила в редакцию
в декабре 2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Шеховцова С. Ю., Высоцкая М. А. Наноразмерный модификатор как инструмент повышения ко-
леестойкости асфальтобетона от пластических деформаций // Вестник Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70).
С. 120—129.

Об авторах:

Шеховцова Светлана Юрьевна — канд. техн. наук, ассистент кафедры строительных материа-
лов и материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строи-
тельный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26,
ShehovtsovaSYU@mgsu.ru

Высоцкая Марина Алексеевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильных и
железных дорог, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова.
Российская Федерация, 208012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, roruri@rambler.ru

S. Yu. Shekhovtsova, M. A. Vysotskaya

NANOSCALE MODIFIER AS A TOOL OF INCREASING STABILITY OF TRACK OF THE ASPHALT CONCRETE EFFECTS FROM PLASTIC DEFORMATIONS

The paper deals with the aspects related to the plastic track, the formation of which directly depends on the properties of the binder in the composition of asphalt concrete. The author assess the influence of primary carbon nanomaterials on the quality of polymer-bitumen binder in comparison with the traditional binder production sample, which includes crosslinking agents. Their effect on the stability of type B asphalt concrete to track formation was studied. The physical meaning of the empirical coefficients of the mathematical model describing track formation is determined. To quantify the service life of the coating, using the developed solution, the calculation method described in DMD 02191.2.051-2012 was used. Determination of the estimated service life was carried out according to the criteria for resistance to plastic deformation.

Key words: single-walled carbon nanotubes, polymer-bitumen binder, asphaltic concrete, track resistance.

For citation:

Shekhovtsova S. Yu., Vysotskaya M. A. [Nanoscale modifier as a tool of increasing stability of track of the asphalt concrete effects from plastic deformations]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 120—129.

About authors:

Shekhovtsova Svetlana Yur'evna — Candidate of Engineering Sciences, Assistant of Construction Materials and Material Science Department, Moscow State (National Research) University of Civil Engineering (NRU MGSU). 26, Yaroslavl'skoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, ShehovtsovaSYU@mgsu.ru

Vysotskaya Marina Alekseevna — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Highways and Railways Department, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46, Kostyukova St., Belgorod, 208012, Russian Federation, roruri@rambler.ru

УДК 681.121:531.717.55

Л. В. Дубачева, М. С. Камьянова, Т. В. Ефремова

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБОРОВ УЧЕТА РАСХОДА ГАЗА В СИСТЕМАХ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Даны характеристики наиболее часто применяемых бытовых счетчиков, рассмотрены их преимущества и недостатки. Проанализированы такие показатели, как гидравлическое сопротивление и погрешность показаний счетчиков. Приведены данные экспериментальных исследований.

Ключевые слова: мембранный счетчик, электронный счетчик, технические характеристики, потери давления, погрешность показаний, расход газа.

Основной задачей при использовании природного газа является его рациональное потребление. Технически и экономически обоснованное проектирование систем газоснабжения способствует обеспечению потребителей необходимым количеством газа с определенным давлением. При этом принимаемые технико-экономические решения должны обеспечивать надежность работы систем при различных режимах отбора газа, в том числе и максимальном [1].

Согласно Федеральному закону «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261 необходимо предусматривать повсеместное измерение потребляемого газа и коммунальных ресурсов у потребителя. Всеобщая установка приборов учета обеспечивает ясность расчетов потребленных энергоресурсов и реальную экономию.

Установка газового счетчика позволяет существенно экономить на оплате газопотребления: практика показывает, что затраты снижаются в 3...5 раз по сравнению с платой по нормативам.

В настоящее время на российском рынке представлен широкий диапазон бытовых счетчиков как отечественного, так и импортного производства, имеющих определенные преимущества и недостатки. Поэтому к выбору прибора учета расхода газа нужно подходить комплексно, учитывая различные аспекты.

Согласно требованиям нормативных документов¹, каждый потребитель газа должен установить приборы учета расхода газа. При этом для бытового применения, как правило, используют счетчики [2].

Мембранные (диафрагменные, камерные) счетчики газа («Вектор», СГМН, NPM, ВК, «Газдевайс» и др.) отличаются высокой надежностью, простой конструкцией и относительно доступной ценой. Однако достаточно большие габариты, громоздкая обвязка, высокий уровень шума приводят к необходимости установки таких счетчиков вне помещений. При такой установке необходимы дополнительные затраты на защиту от атмосферных явлений (металлический шкаф) и применение механического температурного корректора для приведения

¹ СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная версия СНиП 42-01-2002. М.: Минрегион России, 2015.

показаний счетчика к стандартным условиям. Кроме того, мембранные счетчики отличаются относительно небольшим межповерочным интервалом.

Для установки в помещениях в последнее время все чаще применяют электронные счетчики газа (СГМ, «Гранд», «Элехант СГБ»), которые имеют ряд неоспоримых преимуществ: высокая точность показаний, компактные габариты, отсутствием шума, простая настройка и периодичность поверки один раз в 1—12 лет. К недостаткам таких счетчиков можно отнести высокую стоимость и невозможность установки вне помещения.

Особого внимания заслуживают ультразвуковые счетчики (УБСГ), которые обладают высокой точностью, не имеют вращающихся частей, могут работать в широком диапазоне рабочих температур, могут измерять как жидкие, так и газообразные среды, надежны и стабильны в показаниях. Кроме того, они обладают небольшим гидравлическим сопротивлением, имеют различные варианты установки. К недостаткам можно отнести энергозависимость, зависимость измерения от температуры среды, подверженность электромагнитным помехам.

Для определения типа и модели устанавливаемого счетчика необходимо учитывать следующие факторы [3]:

- место установки счетчика;
- наличие корректора;
- габариты и уровень шума счетчика;
- присоединительные размеры;
- срок службы и поверки прибора;
- диапазон счетчика (минимальный и максимальный расход газа);
- надежность, стоимость счетчика и стоимость установки.

При установке на улице можно применять счетчик с механической коррекцией показаний или без корректора. При установке счетчика без корректора приведение показаний к стандартным условиям (температура 20 °С и давление 0,101325 МПа) осуществляется с помощью введения поправочных коэффициентов, определяемых организацией «Регионгаз» в зависимости от средних показателей температуры наружного воздуха за истекший месяц. Вычисления показывают, что такой коэффициент, как правило, несколько завышен по отношению к действительным температурам. Стоимость счетчика с корректором в полтора-два раза превышает стоимость простого счетчика. Установка счетчика на улице требует защиты от атмосферных осадков, т. е. наличия шкафа, что ведет к дополнительным расходам.

К преимуществам уличной установки счетчика можно отнести экономию места внутри помещения, незначительные последствия при утечках газа в присоединительных патрубках прибора учета расхода газа.

Для некоторых счетчиков заводы-изготовители допускают установку как на вертикальном, так и на горизонтальном участке трубопровода. Для ультразвукового и электронного счетчиков отклонение от горизонтали и вертикали не влияет на метрологические и эксплуатационные характеристики. При этом, что очень важно, перед местом установки электронного прибора не требуется прямой трубопровод. Между тем мембранные счетчики предполагают только вертикальную установку. Кроме того, производители требуют, чтобы транспортировка прибора осуществлялась строго в вертикальном положении [4].

Различными для данных счетчиков являются и пределы допустимой температуры окружающей среды. Для электронных счетчиков данный диапазон составляет $-20...+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, для ультразвуковых диапазон немного шире $-40...+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, а самый широкий у мембранных — $-40...+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ². Отсюда можно сделать вывод, что в Волгограде, где расчетная температура наружного воздуха составляет $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, электронные счетчики недопустимо устанавливать на улице. Это касается всех регионов, расположенных севернее г. Волгограда.

Выбирая счетчик газа, следует уточнить количество газовых приборов в квартире и максимальный расход газа этими приборами. Сведения для предполагаемого расхода следует уточнить в технической документации на каждое газоиспользующее оборудование в квартире. Порог чувствительности ультразвукового счетчика ($q_{\min} = 1,6\text{ м}^3/\text{ч}$) не превышает значения $0,52\text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,33q_{\min}$). Значит, при работе одной конфорки газовой плиты ($0,34\text{ м}^3/\text{ч}$) счетчик не сможет учитывать расход газа. Установка такого счетчика в данных условиях является технически необоснованной и неправомерной. Для мембранных счетчиков минимальный расход газа составляет $0,016\text{ м}^3/\text{ч}$. Этого достаточно, чтобы счетчик работал при включении одной конфорки на газовой плите.

Любой прибор учета расхода газа должен проходить государственную поверку. Срок между поверками устанавливается производителем прибора и может значительно различаться. У мембранных счетчиков достаточно большой межповерочный интервал (до 10 лет), чего не скажешь про ультразвуковые счетчики. Так, расходомеры СГ-СГК-1,6 и «Омега» имеют продолжительность межповерочного интервала 8 лет, в то время как газовый счетчик Гранд-1,6 или СГБМ-1,6 Бетар — 12 лет [3]. Что касается среднего значения срока службы, то ультразвуковой счетчик (не меньше 12 лет) также уступает мембранному (не менее 25 лет).

Электронные счетчики имеют в своем составе батарейку питания, которая рассчитана на срок эксплуатации прибора до поверки и заменяется при поверке счетчика.

Последним, но очень важным критерием при выборе бытового газового счетчика является экономический аспект, а именно стоимость самого прибора и стоимость его установки.

Однако не только первоначальная стоимость, но и ремонтпригодность имеет существенное значение. Стоимость бытового электронного счетчика не так велика. Конструкция прибора предусматривает возможность осуществления ремонта всех имеющихся узлов. Ультразвуковые счетчики имеют также невысокую цену, поэтому критерием экономической целесообразности восстановления работоспособности данного счетчика является сопоставление стоимости ремонта и цены нового прибора. Мембранные счетчики ремонту не подлежат. Они не нуждаются в специальном техническом обслуживании за исключением периодической поверки.

Стоимость установки является величиной ненормируемой и определяется организацией, занимающейся этим видом деятельности. Важно, чтобы организация имела право осуществлять такие виды работ, работы выполнялись специально обученными специалистами, так как в процессе эксплуатации счет-

² Каталог продукции. Мембранные счетчики газа. Група Апатог. 2011, 28 с.

чика могут возникнуть различные проблемы (заводской брак, некачественная установка и т. д.).

Что касается габаритов приборов учета расхода газа, то мембранные счетчики являются самыми крупными (минимальные размеры $391 \times 267 \times 369$ мм), вследствие чего могут быть довольно неудобными при установке и эксплуатации. Ультразвуковые счетчики более компактные (Flowsic500 CIS — $231 \times 150 \times 272$ мм). Самые маленькие габаритные размеры имеют электронные приборы, что позволяет устанавливать их в комфортном для пользователя месте.

По данным каталога продукции³, рейтинг продаж десяти самых популярных бытовых счетчиков в феврале 2017 г. выглядит следующим образом:

1. Счетчик газа «Гранд» (рост популярности по сравнению с декабрем 2016 г. на 12 %).

2. Счетчика газа «Бетар» (рост на 37 %).

3. Счетчик газа ООО ЭПО «Сигнал» (падение на 2 %).

4. Счетчик газа «Газдевайс» (рост на 28 %).

5. Счетчики газа «ЭльстерГазэлектроника» (рост на 13 %).

6. Счетчики газа «Элехант» (рост на 52 %).

7. Счетчики газа Metrix (рост на 4 %).

8. Счетчики газа Арзамасского приборостроительного завода (рост на 18 %).

9. Счетчики газа «Тритон» (рост на 44 %).

10. Счетчики газа Itron (падение на 17 %).

Обеспечение нормальной работы бытовых газовых приборов у конечных потребителей — одна из задач эксплуатирующих организаций. Важную роль при выполнении этой задачи играют принятые проектные решения, подтвержденные гидравлическим расчетом.

Одной из задач гидравлического расчета является определение потерь давления газа во внутридомовой сети. Наибольшие значения падения давления, как правило, наблюдаются в бытовых диафрагменных счетчиках. По данным заводов-изготовителей, эти значения могут находиться в диапазоне 150...300 Па. При этом необходимо помнить, что максимальное давление на выходе из сетевого ПРГ, предназначенного для снабжения газом жилых домов, не должно превышать 3,0 кПа. Попытки повысить верхний предел низкого давления до 0,1 МПа позволяют уменьшить диаметр принимаемых газопроводов, но в то же время без установки индивидуальных ГРПШ это может привести к возникновению недопустимых давлений у газовых горелок бытовых приборов [5].

При небольшой протяженности внутридомовой сети для многоквартирных домов потери давления в счетчике составляют значительную часть всех гидравлических потерь. Немаловажное значение имеет правильное определение потерь давления во внутридомовой сети многоквартирного жилого дома, где потери давления в газопроводе частично компенсируются гидростатическим напором. Поэтому во внутриквартирной разводке газопровода основные потери давления приходятся на счетчик.

Некоторые заводы-изготовители не указывают в паспортах на газовые счетчики значения потерь давления, что затрудняет расчеты и может привести

³ Там же.

к необоснованному завышению диаметра труб и, следовательно, к удорожанию системы в целом.

Учет значений потерь давления в счетчике меньше реальных может привести к нарушению нормальной работы газовых приборов, так как давление перед приборами не будет соответствовать номинальному значению (1,3 кПа).

Одним из наиболее важных показателей работы приборов учета расхода газа является точность измерений. Это характеристика качества измерений, отражающая степень близости результатов измерения к истинному значению измеряемой величины. Точность измерения определяется показателями погрешности.

В технической литературе приводится большое количество факторов, которые оказывают влияние на точность измерений количества газа [3]:

- искажение кинематической структуры потока;
- влияние механических примесей;
- влияние наличия жидкости;
- притупление входной кромки стандартной диафрагмы;
- несоответствие качества отверстий для отбора давления предъявляемым требованиям;
- факторы, влияющие на точность измерения температуры;
- нестационарность течения;
- шероховатость внутренней стенки измерительного трубопровода;
- нестабильность компонентного состава.

В паспортах на газовые счетчики заводы-изготовители, как правило, указывают допустимые погрешности в показаниях выпускаемых приборов. При этом допустимые погрешности имеют различные значения для различных расходов газа. Значения имеют дискретный характер, что противоречит физическим законам, в соответствии с которыми зависимость погрешности от расхода газа (а значит, и от скорости движения газового потока) должна графически определяться непрерывной линией.

Для ряда наиболее применяемых бытовых диафрагменных счетчиков на основании паспортных характеристик, предоставленных производителями, построен график зависимости погрешности измерений расхода газа от скорости движения газа (рис. 1).

Из графика видно, что для всех счетчиков характерен резкий перепад значений погрешности на границе диапазонов скоростей. Для газовых счетчиков типа СГМН-1G6, ВК-G4 и Вектор-Т G6 разница составляет 1,5 % (значение снижается от 3 % до 1,5 %), а для счетчика СГМ-4 — 1 % (падение с 2,5 % до 1,5 %). В реальности график зависимости погрешности показаний от скорости движения газа (и, следовательно, от расхода газа) не может иметь дискретный характер, а должен представлять собой прямую или плавную кривую. График не дает ответ, как учитывать погрешность в граничных точках (0,35 м/с и 0,75 м/с), что ближе к истине: нижнее или верхнее значение.

Для определения зависимостей падений давления газа в корпусе счетчика и значений погрешности показаний от скорости движения газа проведен ряд экспериментальных исследований, для которых разработана и собрана экспериментальная установка, рабочая схема которой представлена на рис. 2.

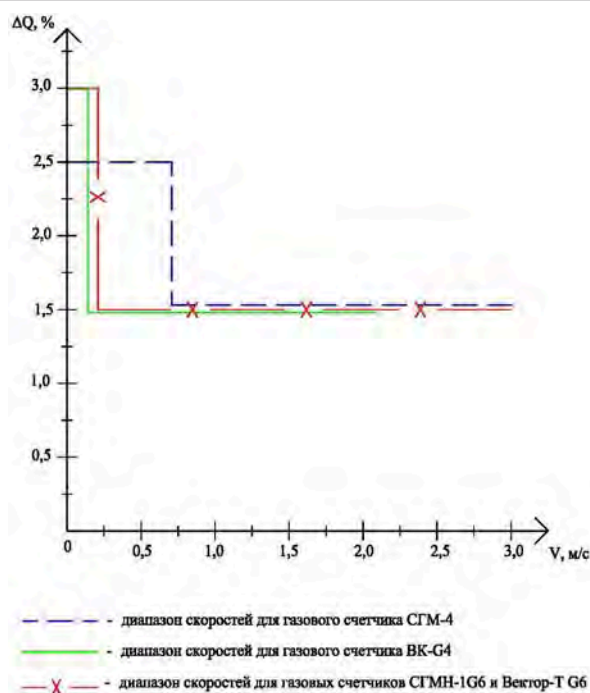


Рис. 1. Зависимость погрешности показаний бытовых газовых счетчиков от скорости движения газа

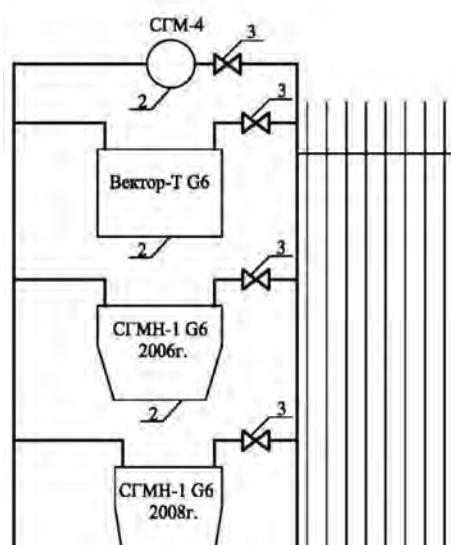


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Побудителем расхода воздуха является вентилятор 1. Расход газа измеряется газовым счетчиком 2, к которому воздух подается путем открытия шарового крана 3, находящегося непосредственно у самого прибора, все остальные краны в это время должны быть закрыты. Значение перепада давления снимаем с U-образных манометров 4.

Для достижения геометрического, кинематического и динамического подобия модели и натуре при исследовании гидравлических режимов движения биогаза необходимо выполнить следующие условия [6]:

$$(Fr)_m = (Fr)_n \quad \text{и} \quad (Re)_m = (Re)_n.$$

Исходя из требования равенства чисел Фруда и Рейнольдса для модели и натуре, для любого линейного размера справедливо следующее:

$$y_{ij} = \mu + d_i \varepsilon_{ij}, \quad \frac{l_m}{l_n} = \frac{v_n}{v_m},$$

где v — коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

При проведении эксперимента движущейся средой в напорном трубопроводе являлся воздух с коэффициентом кинематической вязкости $v = 13,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Принимаем, что в действительности движущейся средой является природный газ, состоящий из метана с коэффициентом кинематической вязкости $v = 14,00 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Поэтому имеем:

$$\frac{l_m}{l_n} = \frac{14,00 \cdot 10^{-6}}{13,56 \cdot 10^{-6}} = 1,03 \quad \text{или} \quad \frac{l_n}{l_m} = 0,97.$$

Поэтому во все полученные экспериментальные зависимости для соблюдения принципов гидравлического моделирования необходимо вводить поправочный коэффициент (0,97).

Экспериментальные исследования влияния различных параметров при работе газовых счетчиков планировались по факторному принципу. Для проведения эксперимента использовались однофакторный эксперимент, двухфакторный эксперимент, трехфакторный эксперимент типа $2k$ и композиционный план второго порядка Бокса — Уилсона.

При однофакторном эксперименте рассматривается, как влияет единичный фактор (количественный или качественный) на интересующую нас переменную y при различных его уровнях. Двухфакторный рассматривается как эксперимент, в котором требуется выяснить влияние факторов A и B на интересующую нас переменную y .

Наиболее простым факторным экспериментом является эксперимент, в котором каждый фактор рассматривается на двух уровнях. Число изучаемых факторов может быть любым $(1, 2, \dots, k)$. Такой эксперимент называется полным факторным экспериментом типа $2k$. Планы типа $2k$ применяются для задач, в которых требуется ответить, влияют или не влияют рассматриваемые факторы на зависимую переменную y .

В однофакторном эксперименте исследуется влияние расхода газа на потери давления.

Результат любого наблюдения может быть представлен следующей моделью [7, 8]:

$$y_{ij} = \mu + d_i \varepsilon_{ij},$$

где μ — суммарный эффект во всех опытах; d_i — эффект фактора; ε_{ij} — ошибки на i -м уровне.

Расход газа определен косвенным методом по разнице значений на дисплее счетчика СГМН-1М.

Потери давления определены прямыми измерениями при помощи U-образного манометра (табл. 1).

Таблица 1

Данные для однофакторного эксперимента

Номер повторного опыта	Счетчик СГМН-1М		
	Потери давления, кПа, при расходе газа		
	$Q = 3,24$	$Q = 3,84$	$Q = 4,8$
1	1,00	1,40	2,10
2	1,02	1,45	2,12

Однофакторный эксперимент подтвердил положение о том, что потери давления в счетчиках не являются постоянными, но зависят от расхода газа. При этом данные экспериментальных исследований существенно отличаются от данных заводов-изготовителей. Установление зависимости гидравлических потерь давления в счетчиках требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Для определения степени влияния времени между снятиями показаний с дисплея счетчика и уровня загрузки счетчика СГМ-4 по расходу газа на точность показаний выполнено планирование двухфакторного эксперимента. Каждый фактор фиксировался на трех уровнях. За фактор A принята степень загрузки счетчика ($0,25Q_{\max}$; $0,5Q_{\max}$; $0,75Q_{\max}$). За фактор B принято фиксированное время между показаниями дисплея счетчика (30 с; 1 мин; 1 мин 30 с). Матрица двухфакторного эксперимента представлена в табл. 2.

Таблица 2

Данные для двухфакторного эксперимента

Уровни фактора B (время измерения)	Уровни фактора A (уровень расход газа)		
	$a_1 = 0,25Q$	$a_2 = 0,5Q$	$a_3 = 0,75Q$
$b_1 = 0,5$ мин	0,034	0,040	0,003
$b_2 = 1,0$ мин	0,066	0,080	0,006
$b_3 = 1,5$ мин	0,093	0,106	0,010

Планирование и обработка результатов эксперимента базировались на дисперсионном анализе. Сравнение дисперсионных отношений для факторов A и B с критерием Фишера для уровня значимости $P = 0,05$ при степенях свободы $f_1 = 2$ и $f_2 = 2$ выявило, что факторы A и B , а также их взаимодействие AB оказывают значительное влияние на точность показаний прибора учета расхода газа. Проверка значимости между средними путем сравнения с использованием рангового критерия Дункана показала, что наименьшие погрешности достигаются при половинной загрузке счетчика по расходу и при времени между считыванием показанием 1,5 мин.

На основании всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Бытовые газовые счетчики в настоящее время являются обязательным компонентом в составе системы газопотребления индивидуальных и многоквартирных жилых домов. Помимо экономических аспектов (стоимость счетчика, стоимость его установки, длительность межповерочного интервала), немаловажное значение играют такие технические характеристики, как гидравлическое сопротивление корпуса прибора и точность показаний.

В статье приводятся преимущества и недостатки выпускаемых промышленностью бытовых газовых счетчиков, даны основные критерии выбора приборов расхода газа, выявлены неточности в предоставляемой заводами-изготовителями информации. Приведены данные экспериментальных исследований, которые показали, что гидравлическое сопротивление корпуса счетчика не является величиной постоянной, но зависит от расхода газа. Двухфакторный эксперимент позволил определить диапазон скорости движения потока газовой среды (расхода газа), имеющий наименьшую погрешность измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оптимизация количества и радиуса действия ПРГ с учетом устойчивой работы регулятора давления газа / Т. В. Ефремова, Н. В. Гроть, А. С. Бурцева, М. А. Вьюшкина, О. В. Смирнова, К. О. Пановская // Инженерный Вестник Дона. 2017. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3913>
2. Промышленное газовое оборудование: справ. 6-е изд., перераб. и доп. Саратов: Газовик, 2013. 1280 с.
3. Дубачева Л. В., Камьянова М. С., Ефремова Т. В. Критерии выбора бытовых газовых счетчиков // XIX всерос. студент. науч.-практ. конф. Нижневарт. гос. ун-та: сб. ст., г. Нижневартовск, 4—5 апреля 2017 г. / Отв. ред. А. В. Коричко. Ч. 1. Биология. Экология. География. Картография. Безопасность жизнедеятельности. Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2017. С. 573—575.
4. Стеценко А. А., Сорокопут В. Л., Недзельский С. Д. Влияние параметров рабочей среды на метрологические свойства счетчика газа // Мир измерений. 2013. № 4. С. 7—10.
5. Гроть Н. В., Ефремова Т. В. Исследование возможности применения методики расчета газопроводов низкого давления в условиях изменения классификации газопроводов по давлению // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи — развитию науки и образования: материалы V международ. науч. форума молодых ученых, студентов и школьников, 26—29 апреля 2016 г. / Под общ. ред. Д. П. Ануфриева. Астрахань: АГАСУ, 2016. С. 171—173.
6. Альтигуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости): учеб. пособие для вузов. изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 323 с.
7. Асатурян В. И. Теория планирования эксперимента: учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1983. 248 с.
8. Эстеркин Р. И., Иссерлин А. С., Певзнер М. И. Теплотехнические измерения при сжигании газового и жидкого топлива: справ. рук. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Недра, 1981. 424 с.

© Дубачева Л. В., Камьянова М. С., Ефремова Т. В., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Дубачева Л. В., Камьянова М. С., Ефремова Т. В. Особенности применения приборов учета расхода газа в системах газопотребления жилых домов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 130—139.

Об авторах:

Дубачева Любовь Валерьевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Камьянова Маргарита Сергеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Ефремова Татьяна Васильевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

L. V. Dubacheva, M. S. Kam'yanova, T. V. Efremova

PECULIARITIES OF USE OF GAS FLOW METERS IN GAS CONSUMPTION SYSTEMS IN RESIDENTIAL HOUSES

The characteristics of the most commonly used household meters are provided, and their advantages and disadvantages are given. Such indicators as hydraulic resistance and error in indication are analyzed. The data of experimental studies are given.

Key words: membrane meter, electronic meter, technical characteristics, pressure loss, error in indications, gas consumption.

For citation:

Dubacheva L. V., Kam'yanova M. S., Efremova T. V. [Peculiarities of use of gas flow meters in gas consumption systems in residential houses]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 130—139.

About authors:

Dubacheva Lyubov' Valer'evna — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Kam'yanova Margarita Sergeevna — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Efremova Tat'yana Vasil'evna — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Power Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

УДК 66.067.36

Н. А. Меренцов^а, С. А. Бохан^б, В. Н. Лебедев^б, В. А. Балашов^а, А. Б. Голованчиков^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *филиал ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ВолгоградНИПИморнефть*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОЧНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

Предложено моделировать течение жидкости в проточном фильтре с помощью имитационной модели в виде проточного цилиндрического канала с однорядной перфорацией отверстиями вдоль образующей цилиндрической поверхности. Показана возможность исследовать с помощью предложенной имитационной модели влияние геометрических размеров канала модели, интенсивности отбора жидкости и степени проточности на закономерность распределения средней скорости течения жидкости и гидравлическую неравномерность потока, аналогичные по форме тем, которые наблюдаются при экспериментальном исследовании течения жидкости с отбором вдоль потока в каналах со сплошной проницаемой цилиндрической поверхностью.

Ключевые слова: проточный фильтр, канал, расход жидкости, степень проточности, проницаемость, экспериментальные исследования, сточные воды, системы оборотного водоснабжения.

Стоки многих предприятий существенно загрязнены ионами тяжелых и цветных металлов, нефтепродуктами и взвешенными веществами, поэтому создание новых ресурсосберегающих технологий и систем очистки сточных вод, позволяющих создавать замкнутые водооборотные циклы, для уменьшения антропогенного воздействия на водные источники, является весьма актуальным направлением [1].

Характерной особенностью развития техники фильтрования суспензий является стремление к осуществлению процесса в непрерывном режиме [2].

Чаще всего для снятия нагрузки с основных аппаратов, таких как центрифуга, фильтры, отстойники и т. д., используются проточные фильтры (рис. 1), выполненные либо в виде протяженного канала с коаксиальной фильтрующей вставкой [3], либо в виде канала, стенки которого являются фильтровальной перегородкой [4]. Данные фильтры могут быть как раздающими, так и собирающими жидкость.

Двигаясь под давлением по каналу, суспензия теряет часть жидкой фазы в виде фильтрата, при этом она сгущается, а затем непрерывно выводится из фильтра. Непосредственно у перегородки сохраняется тонкий слой осадка, обеспечивающий отсутствие в фильтрате частиц твердой фазы.

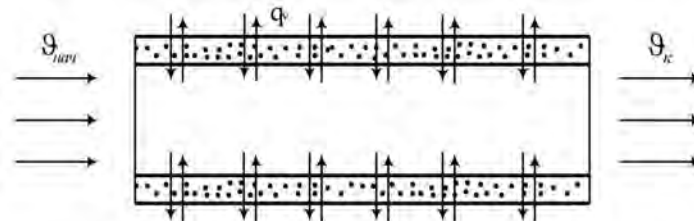


Рис. 1. Упрощенная схема проточного фильтра

Проточные фильтры могут найти очень широкое применение во многих отраслях промышленности, особенно в системах очистки сточных вод промышленных предприятий [5, 6]. К сожалению, проточные фильтры не получили пока широкого применения, что связано прежде всего с недостаточной изученностью основных закономерностей их работы и отсутствием инженерных методик расчета.

Проточные фильтры характеризуются постоянным внешним давлением, а давление вдоль центрального канала может существенно изменяться, вследствие чего возникает значительная неравномерность распределения радиальной скорости фильтрации по всему пространству.

Несмотря на перспективы широкого использования проточного фильтрования в различных технологических процессах, в настоящее время не имеется инженерной методики его расчета. Немногочисленные публикации по теме проточного фильтрования [7, 8] являются частными случаями лабораторных или полупромышленных исследований, а приведенных в них сведений недостаточно для разработки инженерных методов расчета и формулирования общих требований к конструкциям. Поэтому приведение разносторонних теоретических и экспериментальных исследований в области проточного фильтрования суспензий является актуальной задачей [9—13].

При анализе и теоретических исследованиях гидродинамических условий работы проточных фильтров базовой информацией являются закономерности изменения скорости течения и давления вдоль потока в канале фильтра. Характер этих зависимостей определяется совместным действием множества факторов, таких как геометрические размеры канала, свойства фильтрующей перегородки, расход и режимы течения жидкости, условия сопряжения проточного и фильтрационного потоков, свойства жидкости и суспензии. Влияние отдельных факторов на результаты работы проточного фильтра может быть выявлено только при проведении многократных экспериментов. Большая трудоемкость и длительные сроки выполнения многофакторных экспериментов являются одной из причин, сдерживающих экспериментальные исследования в области проточного фильтрования. Другим обстоятельством, осложняющим проведение всесторонних масштабных экспериментальных исследований, является трудоемкость изготовления объектов исследования, которыми являются цилиндрические каналы, выполняемые из разнообразных по структуре, а иногда и дефицитных материалов, используемых в технике в качестве фильтрующих перегородок.

Очевидно, что наличие методики экспериментальных исследований проточных фильтров, позволяющей существенно сократить трудозатраты, расходные материалы и длительность проведения экспериментальных исследований, могло бы сократить сроки как предпроектных исследований, необходимых при разработке новых высокоэффективных проточных фильтров, так и плановых научных исследований в области проточного фильтрования, содействуя тем самым ускорению внедрения в промышленное производство проточных фильтров различного назначения.

Одним из возможных направлений экспериментального исследования гидродинамических условий работы может стать разработка методики, основан-

ной на имитационном моделировании проточного фильтрования, когда объектом экспериментального исследования является цилиндрический канал с однорядной перфорацией в виде отверстий, равномерно распределенных вдоль его образующей.

Можно утверждать, что закономерность изменения средней скорости течения жидкости вдоль канала при ее частичном отборе вдоль потока через стенку канала не должна зависеть от способа отбора жидкости, но будет определяться только закономерностью изменения ее местной интенсивности. Сопоставляя расчетные зависимости для определения отбора жидкости для модели и для проточного фильтра, можно получить формулы пересчета, на основании данных, полученных в опытах на модели, рассчитав значение проницаемости фильтрующей перегородки и распределение внутриканального давления вдоль потока, при которых распределение средней скорости течения жидкости вдоль канала в проточном фильтре и на модели будет одинаковым, а следовательно, и другие гидравлические характеристики проточного фильтра.

В качестве объекта исследования использовался цилиндрический канал 3 с общей длиной $l = 1015$ мм (рис. 2), изготовленный из трубы с внутренним диаметром $d = 15$ мм, с однорядной перфорацией 5, количеством отверстий $n = 52$ и диаметром $d_o = 2$ мм, равномерно распределенной вдоль канала. Отношение длины канала к его внутреннему диаметру $l / D_b = 50,7$. Не отфильтрованная жидкость подается в сосуд через патрубок 1 для дальнейшего измерения. Регулирование напора производится с помощью крана 2. Для сбора отфильтрованной жидкости и измерения расхода рядом с каналом располагаются сосуды 6, находящиеся в металлическом сосуде 7 для сбора пролившейся жидкости. Исследуемый канал закреплен на стойках (на рисунке не показаны) — с целью устойчивости. Для измерения давления в отверстиях использовались пьезометры (на рисунке не показаны).

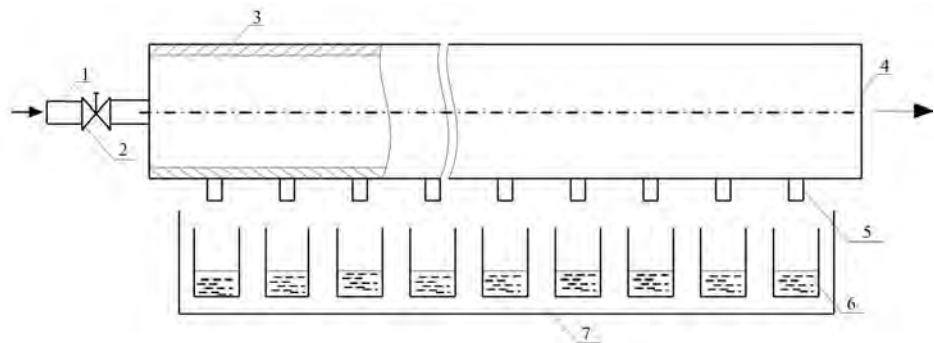


Рис. 2. Схема модельного канала: 1 — патрубок подачи жидкости; 2 — кран регулирования напора; 3 — труба; 4 — выход жидкости; 5 — перфорированные отверстия; 6 — сосуды для сбора отфильтрованной жидкости; 7 — сосуд для сбора пролившейся жидкости

Данная установка позволяет ознакомиться с тем, как геометрические параметры модели проточного канала влияют на коэффициент проточности ϕ . Для варьирования значения коэффициента ϕ изменялся конечный диаметр модели проточного фильтра. Полученные результаты представлены на рис. 3.

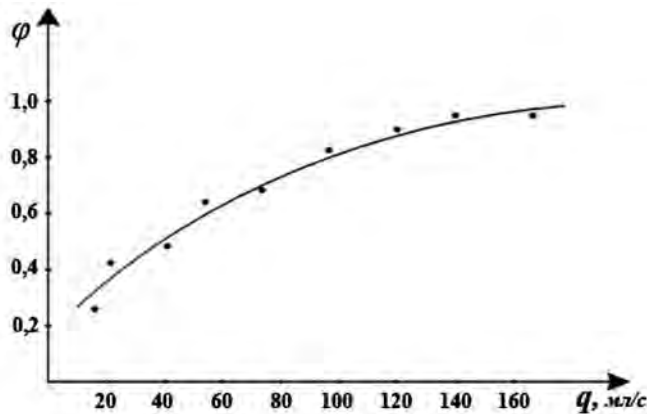


Рис. 3. График зависимости коэффициента проточности от расхода жидкости

Из полученного графика видно, что с увеличением конечного диаметра модели проточного фильтра и увеличением расхода отфильтрованной жидкости увеличивается коэффициент проточности. Эффективная работа проточного фильтра зависит в том числе и от коэффициента проточности. Для достижения оптимальной работы данного канала с проницаемыми стенками целесообразно уменьшить конечный диаметр модели и расход жидкости до тех пор, пока коэффициент проточности ϕ не будет находиться в пределах $0,6 \dots 0,8$.

Разберем методику проведения экспериментальных исследований. Количество контрольных точек для построения графических зависимостей изменения средней скорости течения жидкости вдоль канала принимаем равной пяти. Каждая контрольная точка соответствует поперечному сечению канала, ее место расположения в канале характеризуется координатой x_i . На рис. 4 показана схема расположения контрольных точек для модельного канала, являющегося объектом исследования. По пяти контрольным точкам канал разбивается на пять участков.

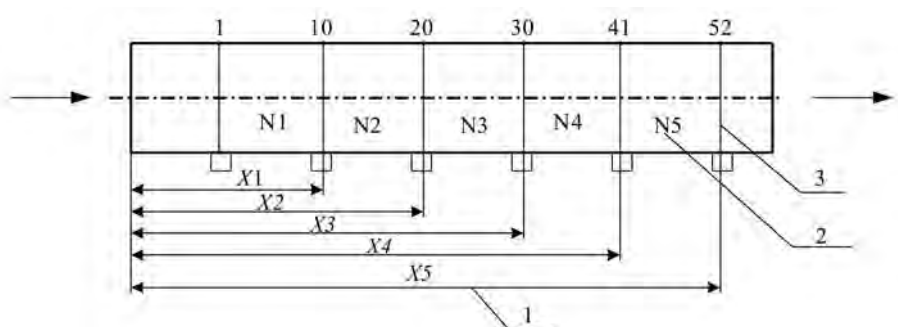


Рис. 4. Схема отбора жидкости из канала: 1 — расстояние от начала подачи жидкости до контрольной точки; 2 — номер сечений; 3 — количество перфорированных отверстий

При такой схеме расположения контрольных точек и участков опыты и обработка полученных опытных данных проводятся в следующей последовательности:

1. Привести установку в рабочее положение и проверить на работоспособность.
2. Для проведения эксперимента в установку подают жидкость.
3. После выхода установки на стационарный режим при заданном расходе q_n определяют для каждого участка суммарный расход жидкости q_i^* , вытекающей из всех отверстий канала, расположенных на выделенном участке. Определяют конечный расход жидкости на выходе из канала q_k . Процесс фильтрации осуществляется за счет перепада давлений, т. е. внутреннее давление не равно атмосферному: $P_{вн} \neq P_{атм}$. Атмосферное давление 760 мм рт. ст.
4. Рассчитывают расходы жидкости, протекающей в канале через пористые сечения, определяемые расположением контрольных точек q_i .
5. Рассчитывают значения средней скорости течения жидкости в канале для поперечных сечений, определяемых расположением контрольных точек U_i .
6. Рассчитывают осредненную по длине канала скорость течения жидкости $U_{ср}$ и определяют безразмерные значения скорости жидкости в поперечных сечениях канала.
7. Рассчитывают для сечений, определяемых расположением контрольных точек, значения гидравлической неравномерности потока β_i .
8. Полученные результаты — количество отфильтрованной жидкости, начальный и конечный расходы — заносятся в журнал экспериментальных исследований. Температура воды постоянна и составляет 8 °С.
9. Эксперимент проводится несколько раз при различных расходах.
10. Для изменения пористости канала исключают из работы часть отверстий, а оставшиеся равномерно распределяют вдоль канала. При оставшихся 15 отверстиях пористость будет $\xi_f = 0,001$.
11. После проведения экспериментов прекращается подача жидкости и приводится в порядок рабочее место.

Рассмотрим основные расчетные зависимости для построения графической части экспериментального исследования.

1. Степень проточности ϕ рассчитывается по формуле

$$\phi = q_k / q_n, \quad (1)$$

где q_k, q_n — конечный и начальный расходы, м³/с.

2. Пористость перфорированного канала рассчитывается по формуле

$$\xi_f = \frac{f_{отв}}{f_{общ}}, \quad (2)$$

где $f_{отв}$ — суммарная площадь поперечного сечения всех отверстий ($\approx 163 \cdot 10^{-6}$ м² при числе отверстий 52); $f_{общ}$ — площадь внутренней поверхности трубы ($\approx 47 \cdot 10^{-3}$ м²).

3. Безразмерная скорость течения жидкости в канале:

$$\bar{U} = \frac{U_i}{U_n}, \quad (3)$$

где U_n — начальная скорость течения жидкости в канале (на входе в канал).

4. Гидравлическая неравномерность потока рассчитывается по формуле

$$\beta = \frac{U_i}{U_{\text{cp}}}, \quad (4)$$

где U_{cp} — скорость течения жидкости, осредненная по длине канала, м/с:

$$U_{\text{cp}} = \frac{\sum U_i}{n}, \quad (5)$$

где n — число сечений.

5. Средняя местная скорость течения жидкости в поперечных сечениях канала рассчитывается по формуле

$$U = \frac{q_i}{S}, \quad (6)$$

где S — площадь поперечного сечения канала.

Проанализируем результаты исследования гидродинамики модельного канала при разных начальных расходах жидкости.

Проводилась серия опытов по оценке работоспособности модельного канала при разных начальных расходах подаваемой в канал жидкости. В модельном канале было задействовано на отбор воды из канала 15 отверстий, равномерно распределенных вдоль канала. Пористость канала при этом составляла $\xi_f = 0,001$. Количество контрольных точек для построения графических зависимостей изменения скорости течения воды вдоль канала равнялось пяти. Расположение координат сечений, для которых определялись скорости течения жидкости, и участков отверстий, для которых определялись расходы вытекающей из каналов жидкости, назначалось в соответствии со схемой отбора жидкости из канала (см. рис. 4). Были проведены опыты для трех различных начальных расходов воды, результаты которых представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты экспериментального исследования

№	Расход жидкости на участке q_{i^*}					Количество отверстий	l , мм	q_n , см ³ /с	q_k , см ³ /с	Доп. сведения
	1	2	3	4	5					
1	3,5	3,5	2,0	1,5	1,0	15	1015	31,5	20	$T = 8^\circ\text{C}$ $\xi_f = 0,001$
2	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4			11,5	9,0	
3	8,0	6,0	6,0	4,0	3,7			63,7	35	

После проведения эксперимента производят расчет необходимых параметров потока и заносят полученные данные в табл. 2.

На рис. 5 изображены графические зависимости распределения средней скорости проточного течения жидкости в модельном канале с проницаемостью $\xi_f = 0,001$, полученные для трех разных расходов. Зависимости представляют собой плавно изменяющиеся кривые, формы которых определяются величиной начального расхода жидкости и количества ее отбора из канала.

Таблица 2

Рассчитанные значения параметров потока

№ оп.	$q_n, q_k, \text{см}^3/\text{с}$	$U_{\text{ср}}, \text{м/с}, \Phi$	Параметр	Координаты контрольных точек (поперечных сечений $x_i, \text{мм}$)					Доп. сведения
			Массив	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
1	31,5 20,0	0,135 0,625	$q_i, \text{см}^3/\text{с}$	28	24,5	22,5	21,0	20,0	$\xi_f = 0,001$ $\text{Re}_n = 1820$
			$U_i, \text{м/с}$	0,158	0,139	0,127	0,119	0,113	
			$\overline{U}_i$	0,825	0,77	0,705	0,66	0,628	
			β_i	1,17	1,03	0,94	0,88	0,84	
2	11,5 9,0	0,0547 0,77	$q_i, \text{см}^3/\text{с}$	10,7	10,2	9,0	9,4	9,0	$\xi_f = 0,001$ $\text{Re}_n = 660$
			$U_i, \text{м/с}$	0,0605	0,0586	0,0508	0,0530	0,0508	
			$\overline{U}_i$	0,91	0,088	0,763	0,795	0,763	
			β_i	1,12	1,07	0,93	0,965	0,93	
3	63,7 35,0	0,245 0,556	$q_i, \text{см}^3/\text{с}$	55,7	48,7	42,7	38,7	35	$\xi_f = 0,001$ $\text{Re}_n = 3670$
			$U_i, \text{м/с}$	0,310	0,275	0,241	0,218	0,197	
			$\overline{U}_i$	0,86	0,765	0,67	0,607	0,546	
			β_i	1,27	1,13	0,99	0,89	0,805	

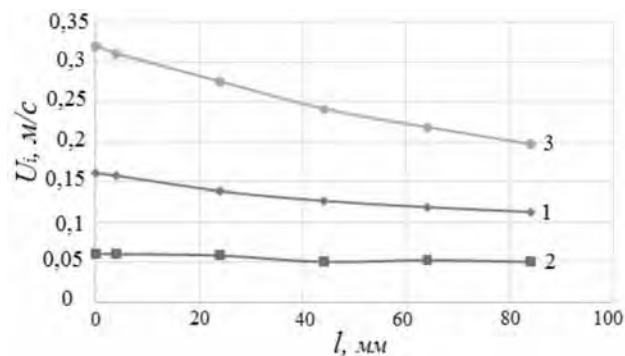


Рис. 5. Распределение средней скорости течения жидкости в канале при разных значениях начального расхода жидкости по длине канала: 1 — опыт № 1; 2 — опыт № 2; 3 — опыт № 3

Важной характеристикой работающего проточного фильтра является коэффициент проточности Φ , определяемый соотношением расходов потоков жидкости на входе из канала и на выходе из него. На рис. 6 изображены полученные на модельном канале графические зависимости, показывающие влияние коэффициента проточности на распределение безразмерной средней скорости в канале независимо от начального расхода жидкости. Графические зависимости представляют собой исходящие из одной точки, плавно изменяющиеся кривые, степень искривления которых уменьшается с увеличением коэффициента проточности.

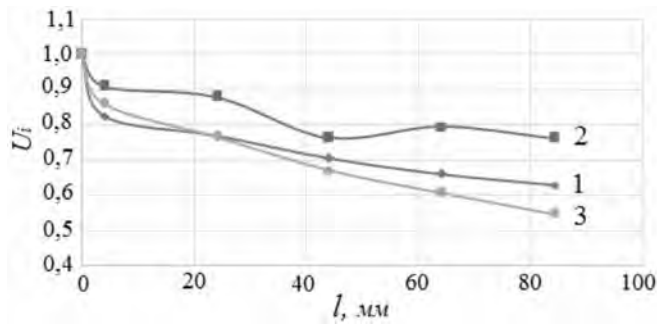


Рис. 6. Распределение безразмерной средней скорости течения жидкости в канале: 1 — опыт № 1; 2 — опыт № 2; 3 — опыт № 3

Одной из гидравлических характеристик работы проточного фильтра является неравномерность распределения средней скорости течения жидкости в канале. При прочих равных условиях гидравлическая неравномерность распределения в канале средней скорости потока зависит от коэффициента проточности и наглядно представляется в виде графических зависимостей соотношения местной и средней скорости $\beta = U_i / U_{cp}$ вдоль потока (рис. 7). Данная зависимость представлена на рис. 7 для модельного канала при его работе в области изменения коэффициента проточности в пределах $\varphi = 0,6 \dots 0,8$.

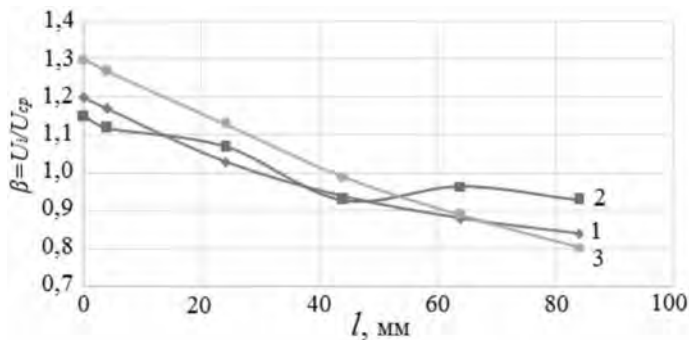


Рис. 7. Графическая зависимость соотношения местной и средней скорости вдоль потока: 1 — опыт № 1; 2 — опыт № 2; 3 — опыт № 3

Рассмотренные графические зависимости изменения средней скорости проточного течения от начального расхода и коэффициента проточности, полученные в опытах на модельном канале, по своей форме и характеру взаимного расположения при изменении начальной производительности и коэффициента проточности оказываются аналогичными зависимостям, полученным для фильтровального отбора жидкости из проточных каналов и приведенным в работах [3, 4]. Это означает, что в обоих случаях имеют место одинаковые по форме математические зависимости, отличающиеся только набором входящих в них констант, что и позволяет использовать для исследования гидродинамики проточных фильтров предлагаемую методику имитационного моделирования.

Таким образом, нами предложено моделировать течение жидкости в проточном фильтре с помощью имитационной модели в виде проточного

цилиндрического канала с однорядной перфорацией отверстиями вдоль образующей цилиндрической поверхности.

Показана возможность исследовать с помощью предложенной имитационной модели влияние геометрических размеров канала модели, интенсивности отбора жидкости и степени проточности на закономерность распределения средней скорости течения жидкости и гидравлическую неравномерность потока, аналогичные по форме тем, которые наблюдаются при экспериментальном исследовании течения жидкости с отбором вдоль потока в каналах со сплошной проницаемой цилиндрической поверхностью.

Целесообразно продолжить экспериментальные исследования с целью получения формул для взаимного пересчета параметров перфорированной поверхности модели и фильтрующей поверхности проточного фильтра, учитывающие различные значения диаметров каналов модели и фильтра и различное значение коэффициентов линейных потерь при течении в них жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Автономные системы оборотного водоснабжения для малотоннажных химических производств // Известия ВолгГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2011. Вып. 4. № 1. С. 102—104.
2. Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A. The filtration equation for packing material // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. No. 1—2. Pp. 10—13.
3. Бент И. О., Галецкий Л. С. Перспективы получения цветных и редких металлов из технологических отходов. Киев: Знание, 1994. 30 с.
4. Бесчастнов М. В. Взрывобезопасность и противопожарная защита химико-технологических процессов. М.: Химия, 1983.
5. Очистка сточных вод гальванического производства от цинка / И. А. Вайнштейн, А. И. Бабина, Г. А. Куденко, И. М. Шабельник // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 7. С. 35—37.
6. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. М.: Глобус, 1998. 302 с.
7. Быстров П. И., Михайлов В. С. Гидродинамика коллекторных теплообменных аппаратов. М.: Энергоиздат, 1982. 224 с.
8. Жужиков В. А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1971. 440 с.
9. Кузнецов Н. А., Балашов В. А., Федянина Д. А. Математическая модель гидродинамики отдельного каталитического реактора // Известия ВолгГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2012. № 1(88). С. 75—78.
10. Милова Д. А., Балашов В. А., Голованчиков А. Б. Определение расхода жидкости при фильтрационном течении жидкости в плоском канале // Известия ВолгГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2011. Вып. 4. № 1(74). 120 с. С. 9—12.
11. Мурзенков Д. С., Балашов В. А. Исследование проточного фильтрационного течения // Инновационные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты: докл. Международ. практ. конф. / Под общ. ред. В. П. Мешалкина. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. 103 с.
12. Приказчикова Е. А., Балашов В. А., Шишлянников В. В. Течение в плоском канале с проницаемыми стенками // Известия ВолгГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2009. Вып. 2. № 1(49). 88 с. С. 16—17.
13. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляторной градирни с капельным орошением // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2012. № 28(47). С. 171—178.

© Меренцов Н. А., Бохан С. А., Лебедев В. Н., Балашов В. А., Голованчиков А. Б., 2018

Поступила в редакцию
в декабре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Имитационное моделирование проточного фильтрования / Н. А. Меренцов, С. А. Бохан, В. Н. Лебедев, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 140—149.

Об авторах:

Меренцов Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, steeples@mail.ru, pahp@vstu.ru

Бохан Светлана Андреевна — инженер, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ВолгоградНИПИ-морнефть». Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 96, oilproject@lukoilmn.ru

Лебедев Виталий Николаевич — инженер, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ВолгоградНИПИ-морнефть». Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 96, oilproject@lukoilmn.ru

Балашов Вячеслав Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, pahp@vstu.ru

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, pahp@vstu.ru

N. A. Merentsov, S. A. Bokhan, V. N. Lebedev, V. A. Balashov, A. B. Golovanchikov

IMITATIVE MODELING OF THE FLOW FILTRATION

It is proposed to simulate the fluid flow in a streamline filter using a simulation model in the form of a streamline cylindrical channel with a single-hole perforation along the generatrix of the cylindrical surface. It is shown that with the help of the proposed simulation model it is possible to investigate the influence of the geometric dimensions of a channel model, the intensity of fluid extraction and the flow degree on the regularity of the distribution of average fluid flow velocity and hydraulic flow unevenness, which are similar in form to those that are observed in an experimental study of the fluid flow with selection along the flow in channel with the solid permeable cylindrical surface.

Key words: streamline filter, channel, fluid flow, flow degree, permeability, experimental studies, sewage, circulating water supply systems.

For citation:

Merentsov N. A., Bokhan S. A., Lebedev V. N., Balashov V. A., Golovanchikov A. B. [Imitative modeling of the flow filtration]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 140—149.

About authors:

Merentsov Nikolai Anatol'evich — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, steeples@mail.ru, pahp@vstu.ru

Bokhan Svetlana Andreevna — Engineer, branch of ООО LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft. 96, Lenina Ave., Volgograd, Russian Federation, oilproject@lukoilmn.ru

Lebedev Vitalii Nikolaevich — Engineer, branch of ООО LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft. 96, Lenina Ave., Volgograd, Russian Federation, oilproject@lukoilmn.ru

Balashov Vyacheslav Aleksandrovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave, Volgograd, 400005, Russian Federation, pahp@vstu.ru

Golovanchikov Aleksandr Borisovich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, pahp@vstu.ru

УДК 628.316.12:547.562.1

**А. В. Москвичева, М. В. Пухов, Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина,
Д. О. Игнаткина, А. Ю. Трегубов**

Волгоградский государственный технический университет

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Представлены результаты исследований, доказывающие целесообразность применения метода электрохимического окисления для очистки сточных вод от фенола. Выявлены оптимальные значения основных технологических параметров проведения процесса электрообработки фенолсодержащих водных сред, обеспечивающие высокий эффект их очистки. Предложен механизм электрохимической деструкции фенола.

Ключевые слова: очистка сточных вод, электрохимическое окисление, фенолсодержащие сточные воды.

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) занимают ведущие позиции по объему потребляемой воды среди промышленных предприятий. В производстве вода используется для охлаждения или конденсации продуктов (при невозможности применения воздушного охлаждения), охлаждения машин, промывки топлива после зашелачивания, приготовления реагентов и других нужд [1, 2].

Рассмотрим источники образования сточных вод некоторых основных технологических процессов нефтеперерабатывающих предприятий.

В процессе первичной перегонки нефти на установках атмосферно-вакуумной перегонки источниками образования сточных вод, загрязненных нефтепродуктами и другими веществами, являются технологический конденсат водяного пара, подаваемого в основную атмосферную колонну, конденсат от барометрических конденсаторов смешения, скрубберов, охлаждения сальников насосов, вода от мытья полов и т. д.

Значительное количество сточных вод образуется в процессе щелочной очистки бензина и других продуктов от сернистых соединений. Светлые нефтепродукты очищают, как правило, 10%-м раствором щелочи. Следы щелочи удаляют из нефтепродуктов водной промывкой. Отработанный щелочной раствор содержит около 2 % щелочи (NaOH) и сбрасывается в канализацию.

При термическом и каталитическом крекинге основное количество сточных вод образуется при конденсации и охлаждении продуктов, при этом горячая отработанная вода направляется в систему оборотного водоснабжения. Нефтесодержащие сточные воды образуются при конденсации водяного пара, подаваемого в реактор. В канализацию также сбрасываются сточные воды от промывки аппаратуры, смыва нефтепродуктов с полов, охлаждения сальников насосов и т. д.

Нефтепродукты после очистки от непредельных и ароматических углеводородов, а также смолистых, азотистых и отчасти сернистых соединений отмываются водой от кислоты и обрабатываются щелочным раствором для удаления остатков кислых продуктов. В результате образуются кислые про-

мывные воды, сточные воды, отработанный щелочной раствор и нейтральные нефтесодержащие сточные воды от промывки аппаратов, смыва с полов и т. п.

Сточные воды образуются также при промывке газов раствором едкого натра от сероводорода перед подачей газов на установки фракционирования, в процессе десульфатизации масел пропаном, сернокислотной и щелочной очистки масел и в других процессах [3].

Следует отметить, что попадание нефтепродуктов, фенолов и других загрязняющих веществ в сточные воды может происходить и через неплотности аппаратуры, а также при авариях.

В табл. 1 представлены основные виды сточных вод НПЗ и их химический состав.

Таблица 1

Химический состав сточных вод НПЗ [1]

Соединение	Ед. изм.	Сернисто-щелочной сток	Нефтесодержащий сток	Парафинсодержащий сток	Нефтесодержащий нейтральный
Щелочность	мг/л	297	50	100	20
Сульфиды	мг/л	5000	4000	—	100
pH	—	13...14	5,5	7	8
БПК _{полн}	мгО ₂ /л	—	500	350	250
Нефтепродукты	мг/л	800	3000	250	25
Фенолы	мг/л	50	60	30	10
Сульфаты	мг/л	80	90	50	90
Взвешенные вещества	мг/л	300	1500	100	150
ХПК	мгО ₂ /л	3423	900	450	400
Сухой остаток	мг/л	1650	1000	800	100

В настоящее время сточные воды большинства нефтеперерабатывающих предприятий проходят очистку по следующей схеме: первичное отстаивание в нефтеловушках, далее физико-химическая обработка методом напорной флотации, после которой осуществляется очистка в двух ступенях фильтрования. Количество фильтрующе-сорбирующих материалов, применяемых на стадии фильтрования, достигает нескольких десятков [3].

Традиционно на первой ступени используют фильтры, загруженные антрацитом или двухслойной загрузкой из песка и антрацита. Известны также исследования трех- и даже пятислойных загрузок, состоящих из антрацита и кварцевого песка. На второй ступени очистку проводят на насыпных фильтрах со слоем активированного угля или на намывных фильтрах [4].

Сложность технологических схем регенерации, большой расход горячей воды и реагентов, а также высокая стоимость и дефицитность делает использование активированных углей в насыпных фильтрах нерациональным. Кроме того, обработанный активированный уголь плохо выгружается из фильтров пневмогидротранспортом, а это создает большие трудности, связанные с необходимостью ручной выгрузки материала.

Кроме того, многолетняя практика эксплуатации локальных очистных сооружений НПЗ, согласно представленной схеме, показывает недостаточную эффективность удаления фенола из сточных вод. Между тем фенол, как известно, является одним из наиболее опасных ингредиентов сточных вод НПЗ.

Для удаления фенола из сточных вод целесообразно использовать метод электрохимического окисления. В настоящее время методы электрообработки зарекомендовали себя как эффективные и прогрессивные технологии в области очистки воды.

Преимуществом использования электрического тока в технологии очистки сточных вод является прямое превращение электрической энергии в энергию химической реакции, протекающей в растворе с большой скоростью, что имеет существенное значение при ресурсосбережении [5]. Установки по реализации этих методов достаточно компактны, высокопроизводительны, процессы управления и эксплуатации сравнительно просто автоматизируются [6]. Кроме того, электрообработка при правильном сочетании ее с другими способами позволяет успешно очищать сточные воды от ряда примесей различного состава и дисперсности. Весьма позитивным являются также то, что при электрообработке, как правило, не увеличивается солевой состав очищенной воды и нередко исключается образование осадков или значительно уменьшается их количество [7]. Все это обеспечивает в ряде случаев существенные преимущества электрохимических методов перед традиционными методами обработки воды [8].

Анализ литературных источников показал, что метод электрохимического окисления ранее не применялся для очистки сточных вод от фенола при его концентрации более 50 мг/л. Для обеспечения высокой эффективности очистки сточных вод указанным методом необходимо провести ряд исследований по определению оптимальных значений технологических параметров электроокисления, таких как материал анода, анодная плотность тока, время обработки воды электрическим током, pH и температура обрабатываемой среды, а также концентрация NaCl. В настоящей работе представлены результаты исследований по определению значений указанных электротехнических параметров, обеспечивающих максимальный эффект очистки модельных растворов от фенола.

Модельные растворы готовили следующим образом: 0,1 г фенола взвешивали на аналитических весах, количественно переносили в мерную колбу объемом 1 л, растворяли, объем в мерной колбе доводили дистиллированной водой до метки, закрывали пробкой, перемешивали. Концентрацию фенола в модельных растворах определяли перед экспериментом фотоэлектроколориметрическим методом анализа при помощи градуировочной кривой.

Материал анода. Так как процесс электрохимического окисления осуществляется в аппаратах с нерастворимыми анодами, следовательно, основные требования, которым должен отвечать материал анода, — это достаточная механическая прочность и химическая устойчивость к агрессивным средам, низкое перенапряжение материала относительно целевой реакции электроокисления [6, 9]. Последнее условие является одним из основных, так как обеспечивает наименьшее потребление электроэнергии. В качестве материала анода использовались следующие: титан, графит и нержавеющая сталь. В качестве материала катода во всех экспериментах использовалась нержавеющая

сталь. Выбор материала анода осуществлялся на основе изучения анодных поляризационных кривых (рис. 1), с помощью которых выявлена оптимальная плотность тока.

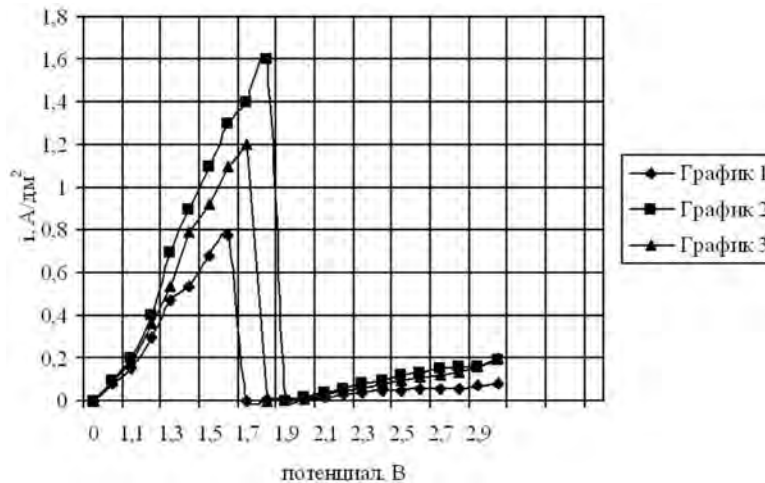


Рис. 1. Зависимость потенциала окисления фенола от плотности тока: 1 — титановый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

Согласно полученным поляризационным кривым, минимальный потенциал окисления фенола наблюдается на титановом аноде и составляет +1,67 В, максимальный — на графитовом аноде (+1,87 В). Среднее значение потенциала окисления для фенола получено на аноде из нержавеющей стали (+1,8 В). Плотности тока составили 0,8 А/дм², 1,6 А/дм² и 1,2 А/дм² для титанового анода, графитового анода и анода из нержавеющей стали соответственно. В результате для дальнейших исследований использовались титановые аноды.

Плотность тока. Так как все электрохимические реакции совершаются на границе раздела «электрод — раствор», скорость процесса зависит от площади поверхности электрода, т. е. плотности тока i [10, 11]. Плотность тока, А/дм², в процессе проведения исследований рассчитывалась по формуле

$$i = \frac{Y}{S(n-1)}, \quad (1)$$

где Y — сила тока, А; S — площадь электродной пластины, дм²; n — число пластин.

На основе анализа полученной зависимости (рис. 2) выбран интервал рабочей плотности тока 0,7...0,9 А/дм².

Время электрообработки. Время электрообработки является фактором, характеризующим глубину разрушения органических веществ в ходе электрохимического окисления [12]. Условия, при которых осуществлялось определение оптимального времени обработки модельных растворов, следующие: титановый анод, плотность тока 0,8 А/дм². Зависимость эффекта очистки модельных растворов от времени обработки постоянным электрическим током представлена на рис. 3.

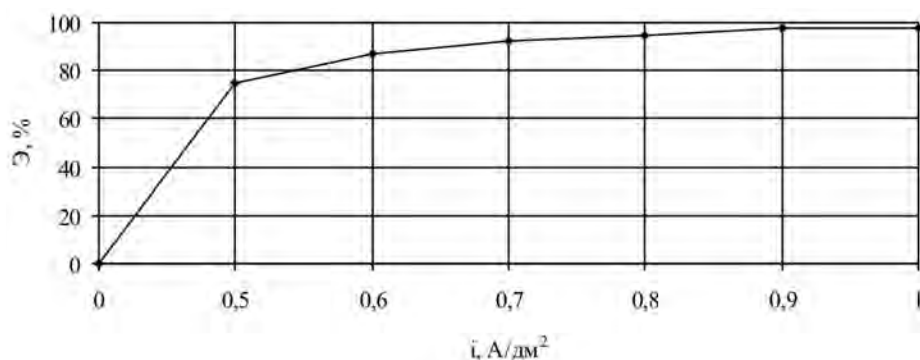


Рис. 2. Зависимость эффекта очистки модельного раствора фенола от плотности тока

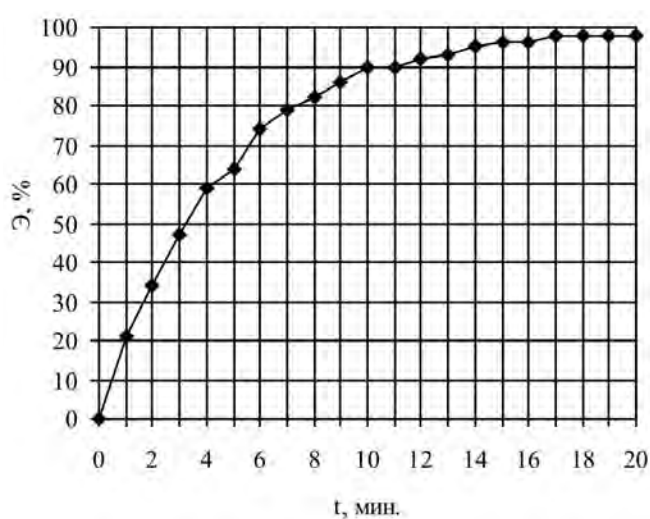


Рис. 3. Зависимость эффекта очистки фенолосодержащих модельных растворов от времени электрообработки

Результаты изучения зависимости эффекта очистки модельных растворов от фенола при различном времени обработки позволили определить минимальное время, при котором достигается максимальный эффект очистки (98 %), — оно составило 17...20 мин. Дальнейшее повышение времени обработки не приводило к повышению эффективности очистки. Однако следует отметить, что высокий эффект очистки (от 90 % и выше) наблюдался начиная с 10-й минуты обработки модельных растворов постоянным электрически током.

Температура. Известно, что повышение температуры в той или иной степени приводит к ускорению химических реакций. Это также относится и к реакциям электроокисления [13]. Экспериментальные исследования по определению температуры обработки фенолосодержащих модельных растворов проводились при следующих технологических параметрах: материал анода — титан, плотность тока 0,8 А/дм², время обработки 20 мин. Полученные данные представлены зависимостью эффекта очистки модельных растворов от их температуры (рис. 4).

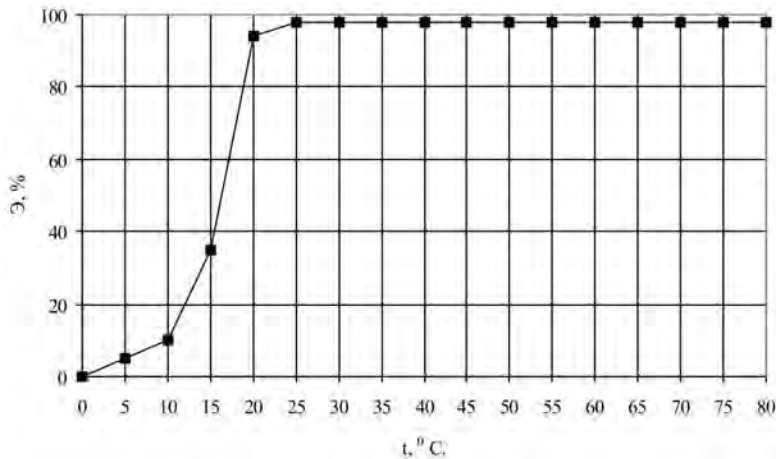


Рис. 4. Зависимость эффекта очистки модельных растворов от температуры

Следует отметить, что увеличение температуры обрабатываемых модельных растворов (от 20 °С до 80 °С) не оказывает существенное влияние на эффективность процесса электрохимической очистки, но несколько уменьшает расход электроэнергии (на 6...8 %). Однако сравнительные расчеты энергозатрат на подогрев сточных вод показали целесообразность ведения процесса очистки при температуре окружающей среды (в помещении), а именно при 18...25 °С.

pH. Согласно литературным источникам, максимальная электроокислительная способность системы достигается в среде, близкой к нейтральной [14—16]. Это обусловлено присутствием в растворе оптимального соотношения хлора и его производных, оказывающих окислительное действие на органические вещества, в том числе и на фенол. Выявление оптимального значения pH модельных растворов проводилось при использовании титанового анода, плотности тока 0,8 А/дм², времени обработки 20 мин и температуре 20 °С. Полученные результаты представлены на рис. 5.

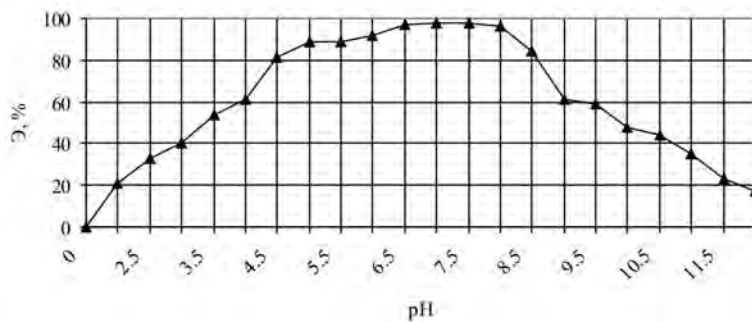


Рис. 5. Зависимость эффекта очистки модельных растворов от pH

Изучение зависимости эффекта очистки фенолсодержащих модельных растворов от pH среды (см. рис. 5) показывает, что максимальный эффект очистки достигается в интервале pH от 6,5 до 8,0.

Состав электролита. При электрохимической деструкции органических загрязнений основным окислительным агентом является генерируемый в объеме обрабатываемой жидкости активный хлор, на выход которого, помимо режимных параметров проведения электрообработки, влияет и его концентрация [6, 16]. В ряде случаев при недостаточном их содержании в исходную сточную воду добавляют раствор NaCl. Поэтому определение оптимальной концентрации поваренной соли важно как с технологических, так и с экономических позиций.

Полученная зависимость эффекта очистки фенолсодержащих модельных растворов от концентрации поваренной соли (рис. 6) позволяет сделать вывод о том, что максимальная эффективность очистки водных сред от фенола достигается при концентрации NaCl в пределах 1,4...1,6 г/л. Дальнейшее повышение концентрации поваренной соли не позволяет повысить эффект очистки.

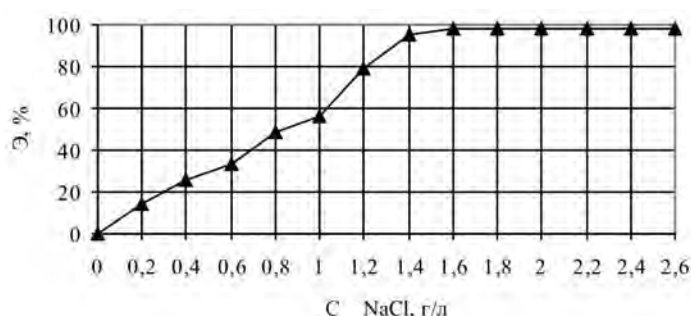
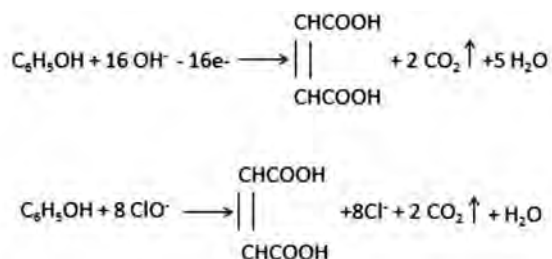


Рис. 6. Зависимость эффекта очистки модельных растворов фенола от концентрации поваренной соли

В ходе исследований, проведенных в лабораторных условиях, были определены оптимальные параметры электрообработки фенолсодержащих водных растворов, позволяющие очищать последние от фенола при достижении эффекта очистки 98 %: материал анода — титан, плотность тока 0,7...0,9 А/дм², время обработки 17...20 мин, температура 18...25 °С, pH 6,5...8,0, концентрация поваренной соли 1,4...1,6 г/л.

Результаты проведенных исследований показали, что обработка рассматриваемых сточных вод при определенных ранее условиях способствует, с одной стороны, деструкции фенола в прианодном пространстве до прогнозируемых структур, а с другой — окислению молекул фенола в объеме обрабатываемого электролита. Полученные данные позволили сформулировать вероятностный механизм электроокисления фенола, протекающий по представленным ниже уравнениям реакции:



Таким образом, согласно предложенному механизму электрохимической деструкции фенола, в прианодном пространстве происходит разрыв бензольного кольца с образованием малеиновой кислоты, углекислого газа и воды. Кроме того, в объеме обрабатываемого модельного раствора происходит окисление фенола гипохлорит-анионом, при этом также образуется малеиновая кислота, хлорид-анион, углекислый газ и вода.

Выводы. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность очистки сточных вод от фенола методом электрохимического окисления. Проведение процесса электрообработки фенолсодержащих модельных растворов при следующих параметрах: материал анода — титан, плотность тока 0,7...0,9 А/дм², время обработки 17...20 мин, температура 18...25 °С, рН 6,5...8,0, концентрация поваренной соли 1,4...1,6 г/л, позволяет достигать эффект очистки водных сред от фенола до 98 %. Предложенный механизм окисления фенола в прианодном пространстве и в объеме электролита подтверждает целесообразность применения метода электрохимической деструкции для очистки фенолсодержащих сточных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берне Ф., Кордонье Ж. Очистка сточных вод нефтепереработки / Пер. с франц.; под ред. Е. И. Хабаровой. М.: Химия, 1997. 288 с.
2. Гит Ф. М. Современные системы очистки нефтесодержащих сточных вод // Вода. 2002. № 3. С. 22—23.
3. Карелин А. Я. Очистка сточных вод нефтяных промыслов и заводов. М.: Госстройиздат, 1979. 349 с.
4. Стахов Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. М.: Недра, 1994. 256 с.
5. Юрко (Москвичева) А. В. Разработка малоотходной технологии очистки сточных вод заводов ЖБИ от эмульгированных органических загрязнений: автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2010.
6. Краснотородько И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л.: Химия, 1988. 192 с.
7. Харламова Т. А., Алиев З. М., Исаев А. Г. Электрохимическая очистка сточных вод, содержащих красители // Технологии очистки воды «Техновод-2004»: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: Темп, 2004. С. 174—178.
8. Якименко Л. М. Очистка сточных вод без использования химикатов // Galvanotechnik. 1993. № 7. Р. 22.
9. Якименко Л. М. Электродные материалы в прикладной электрохимии. М.: Химия, 1987. 183 с.
10. Прикладная электрохимия / Н. П. Федотьев, А. Ф. Алабышев, А. П. Ротинян и др. Л.: Химия, 1984. 214 с.
11. Прикладная электрохимия / Под. общ. ред. А. П. Ротиняна и др. Л.: Химия, 1967. 600 с.
12. Электрохимия органических соединений / Под ред. А. П. Томилова. М.: Мир, 1976. 706 с.
13. Грановский М. Н. Электрообработка жидкости. Л.: Машиностроение, 1976. С. 36—37.
14. Фиошин М. Я., Томилов А. П. Некоторые проблемы современной электрохимии органических соединений (обзор) // Электрохимия. 1983. Т. 19. Вып. 1. С. 3—21.
15. Гордон Дж. Органическая химия растворов электролитов. М.: Мир, 1979. 712 с.
16. Козорез Л. А., Зернов А. Г., Якоби В. А. Избирательное окисление органических соединений // Электрохимия. 1978. Т. 14. № 11. С. 1695—1697.

© Москвичева А. В., Пухов М. В., Москвичева Е. В., Доскина Э. П.,
Игнаткина Д. О., Трегубов А. Ю., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Практические аспекты электрохимической очистки фенолсодержащих сточных вод / А. В. Москвичева, М. В. Пухов, Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, Д. О. Игнаткина, А. Ю. Трегубов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 150—159.

Об авторах:

Москвичева Анастасия Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Пухов Максим Вадимович — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, miximnegu@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

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

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

Трегубов Алексей Юрьевич — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, alexey.tregubov94@yandex.ru

**A. V. Moskvicheva, M. V. Pukhov, E. V. Moskvicheva, E. P. Doskina,
D. O. Ignatkina, A. Yu. Tregubov**

PRACTICAL ASPECTS OF ELECTROCHEMICAL PURIFICATION OF PHENOL-CONTAINING WASTEWATER

The authors present the research results demonstrating the feasibility of applying the electrochemical oxidation method to purify wastewater from phenol. The optimal values of main technological parameters of the process of electrical treatment of phenol-containing water medium are revealed. These values ensure high cleaning effect. The proposed mechanism of electrochemical degradation of phenol is proposed.

Key words: wastewater treatment, electrochemical oxidation, phenol-containing wastewater.

For citation:

Moskvicheva A. V., Pukhov M. V., Moskvicheva E. V., Doskina E. P., Ignatkina D. O., Tregubov A. Yu. [Practical aspects of electrochemical purification of phenol-containing wastewater]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2018, iss. 51(70), pp. 150—159.

About authors:

Moskvicheva Anastasia Vladimirovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Pukhov Maksim Vadimovich — Master's Degree student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, miximnegu@mail.ru

Moskvicheva Elena Viktorovna — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Doskina El'vira Pavlovna — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Professor of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Ignatkina Dar'ya Olegovna — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Tregubov Aleksei Yur'evich — Master's Degree student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, alexey.tregubov94@yandex.ru

УДК 628.161.2 : 546.72

А. В. Москвичева, А. Ю. Трегубов, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, М. В. Пухов

Волгоградский государственный технический университет

СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Рассмотрен вопрос сорбционного обезжелезивания подземных вод. Представлены результаты исследований, доказывающие целесообразность использования минерального сырья в качестве сорбента для очистки водных сред от ионов железа (II). Предложен механизм поглощения ионов железа (II) опокой.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подземные воды, сорбция, минеральные сорбенты.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения значительной части населения сельских поселений Волгоградской области используется вода подземных источников. В подземной воде наблюдается повышенное содержание железа (до 30 мг/л), причем основная доля от общего содержания приходится на железо (II). В СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», а также в специальной литературе [1] регламентируется содержание железа в питьевой воде не более 0,3 мг/л.

Обезжелезивание воды — это процесс удаления железа, которое находится в составе воды в виде сложных растворов, соединений и пр. Основными путями поступления железа в воду, получаемую из природных источников, являются процессы выветривания, эрозии почв и растворения горных пород [2].

Подход к очистке вод от железа различен. На сегодняшний день существуют следующие способы обезжелезивания природных вод [3]:

- 1) очистка воды от железа при помощи аэрации; очистка воды окислением двухвалентного железа с добавлением сильных окислителей;
- 2) очистка при помощи каталитического окисления с последующей фильтрацией;
- 3) очистка ионообменным методом; очистка мембранными методами;
- 4) очистка биологическим обезжелезиванием;
- 5) очистка электромагнитным полем.

Наиболее распространенными являются методы очистки воды от железа при помощи аэрации, очистка воды окислением двухвалентного железа с добавлением сильных окислителей и очистка воды от железа при помощи каталитического окисления с последующей фильтрацией. Сущность их заключается в предварительном окислении ионов железа (II) в железо (III) при помощи различных способов и дальнейшее выделение трехвалентного железа в виде его гидроксида, не растворимого в воде.

Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых доказали перспективность применения сорбционного метода для очистки воды от многих загрязнителей. Кроме того, на сегодняшний день существует значительное количество сорбентов отечественного и зарубежного производства. Однако применение того или иного материала должно быть обосновано

технико-экономическим расчетом и, главное, особенностью и уникальностью химических свойств железа и его соединений [4].

Несмотря на многообразие характера адсорбционных сил, все адсорбционные явления можно разбить на два основных типа: физическую адсорбцию и сорбцию, основанную на силах химического взаимодействия. Физическая адсорбция вызывается силами молекулярного взаимодействия. Хемосорбция — поглощение растворенных загрязнений из водных сред за счет образования химических соединений между компонентами сорбента и обрабатываемой воды.

Как в отечественной, так и в зарубежной практике большое распространение для очистки природных и сточных вод получили искусственные сорбенты, и прежде всего активные угли [5].

Однако использование активных углей в качестве сорбентов часто является невыгодным из-за их повышенной микропористости, малого удельного веса, высокой стоимости, низкой механической прочности гранул и необходимости восстановления сорбционной емкости. Поэтому в последние годы получили распространение сорбенты из природных минералов [6, 7]. Они различаются видом сырья, а следовательно, и свойствами.

Отличительной особенностью минеральных материалов является нерегулярная структура, а также возможность повышения сорбционной активности в области малых концентраций загрязнений вод. Преимуществом этих сорбентов является доступность сырья, недостатком — необходимость гигиенической оценки полученных материалов [8—10].

При всем разнообразии существующих материалов для обезжелезивания природных вод недостатками большинства из них является: низкое значение максимальной исходной концентрации железа (20 мг/л), отсутствие возможности использования отработанного сорбционного материала в качестве вторичного сырья, высокая стоимость ввиду необходимости нанесения на их поверхность катализаторов.

Все вышесказанное подтверждает актуальность работ по поиску минерального сырья, позволяющего получить на его основе эффективный и доступный сорбент для обезжелезивания воды, исключающий предварительную аэрацию, обработку воды окислителями и использование катализаторов.

Цель исследований — получение материала для очистки природной воды от ионов железа (II).

Задача исследований — поиск минерального сырья, исследование его сорбционных свойств относительно ионов железа (II), выявление механизма сорбции.

В результате проведенных предварительных исследований предложено использовать природный минерал — опоку Каменнорского месторождения Астраханской области — как основу сорбента для обезжелезивания воды [2, 4, 11, 12]. Визуально это однородная, довольно прочная порода (рис. 1). Среди цветов преобладают белый и серый [13]. Для проведения эксперимента использовалась только серая опока.

Опока имеет следующие физико-химические характеристики:

удельный вес 2,98 г/см³;

пористость 9,86 %;

естественная влажность 0,2...0,5 %;
механическая прочность 590 кг/см²;
твердость 2,5;
измельчаемость 19 %;
истираемость 0,77 %;
насыпной вес 2,6 г/см³.

Химический состав опоки:

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	CaSO ₄	CaCO ₃
Содержание, %	75...80	18...22	0,5...1,0	0,2...0,5	0,3...0,5	0,12...0,80

Для проведения исследований по изучению сорбционных свойств опоки ее предварительно дробили (рис. 2) и затем рассеивали на ситах для выделения частиц фракции 1...5 мм, далее промывали горячей дистиллированной водой ($T = 85...90\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высушивали при температуре 100...105 °С до остаточной влажности на уровне 2 % [2].



Рис. 1. Исходное минеральное сырье



Рис. 2. Опытный образец сорбента

Как известно, процесс сорбционной очистки определяется такими технологическими параметрами, как сорбционная емкость сорбента и гидродинамический режим процесса [10].

Для проведения исследований модельные растворы готовили путем растворения навески FeSO_4 в дистиллированной воде. Концентрация железа (II) составляла 35,0 мг/л. pH модельных растворов поддерживалась в интервале 7,6...8,5.

Технологические характеристики сорбента определялись в статическом и динамическом режимах.

Первоначально в рамках первого этапа в статических условиях были проведены эксперименты по определению сорбционной емкости по ионам железа (II) при высоких исходных концентрациях, характерных для подземных вод Волгоградской области.

Эксперименты по изучению кинетики поглощения ионов железа (II) из водных растворов проводились путем контактирования модельных растворов (по 0,25 дм³) сульфата железа (II). Опыты проводились с навесками сорбента (5...15 г) при постоянном перемешивании в течение 25 мин и 50 мин (фракция опоки 1...3 мм и 4...5 мм соответственно) при помощи магнитной мешалки. Затем растворы отделялись от взвешенных частиц сорбента фильтрованием через бумажный фильтр, и в них определялась равновесная концентрация иона железа (II). По разности исходной и равновесной концентрации определялась сорбционная емкость опоки по ионам железа (II) и затем была построена изотерма их поглощения.

Время контакта определено на основании опыта по динамике изменения содержания в пробе ионов железа (II) при сорбции опокой во времени (рис. 3).

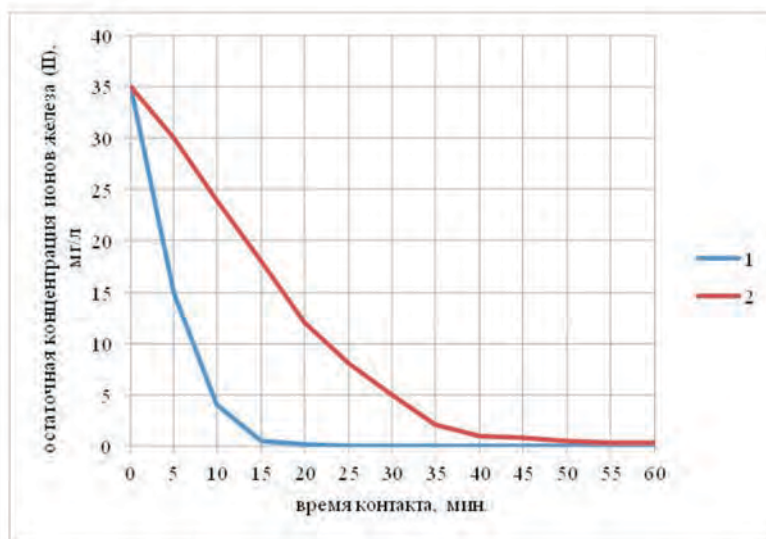


Рис. 3. Влияние времени контакта модельных растворов и опоки на значение остаточной концентрации железа (II) в модельных растворах: 1 — фракция опоки 1...3 мм; 2 — фракция опоки 4...5 мм

На рис. 3 можно видеть, что сорбционное равновесие наступает через 20...25 мин контактирования модельного раствора с сорбентом при фракции опоки 1...3 мм и через 45...50 мин при фракции 4...5 мм.

На рис. 4 приведена изотерма сорбции железа (II) опоккой различного фракционного состава. На графиках видно, что при использовании в качестве сорбента опоки возможно удаление железа (II) до нормативного значения (0,3 мг/л).

Из приведенной на рис. 4 изотермы сорбции ионов железа (II) опоккой следует, что увеличение равновесной концентрации иона железа (II) в растворе приводит к росту сорбционной емкости.

Опыты с применением опоки продемонстрировали возможность достижения нормативных значений концентрации ионов железа для питьевой воды при высокой исходной концентрации. Сорбционная емкость для железа составляет 0,6 мг/г и 0,21 мг/г (фракция опоки 1...3 мм и 4...5 мм соответственно) при равновесных концентрациях, равных 0,3 мг/л.

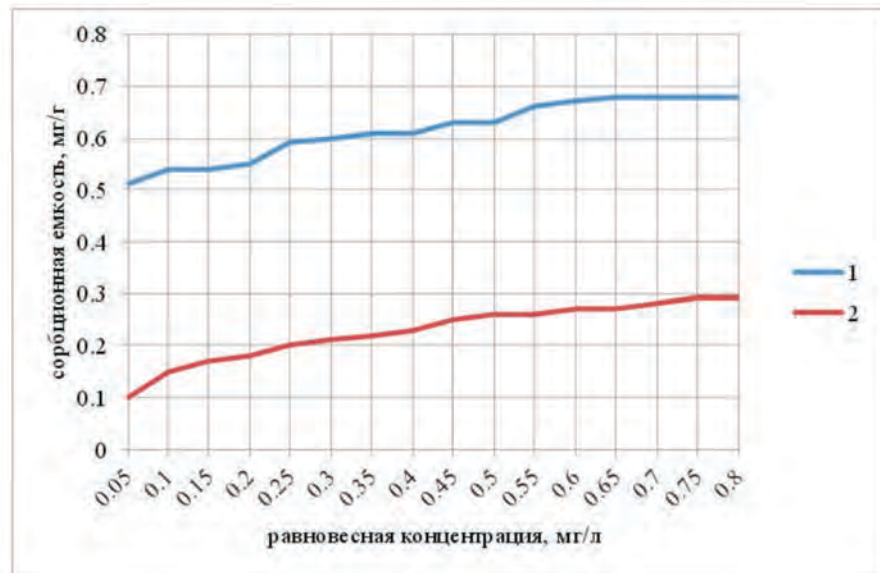


Рис. 4. Изотерма сорбции ионов железа (II) опоккой: 1 — фракция опоки 1...3 мм; 2 — фракция опоки 4...5 мм

Резкое отличие значений сорбционной емкости опоки (почти в три раза) при использовании различных фракций опоки подтверждает предположение о влиянии размера частиц сорбционного материала на эффективность очистки. Это можно объяснить увеличением площади контакта сорбента с очищаемой водой и, как следствие, значительным повышением величины сорбционной емкости ионов железа (II) из раствора.

Однако чрезмерное увеличение удельной поверхности сорбента путем сверхтонкого измельчения приводит к нарушению его структуры и вследствие этого к изменению в ту или иную сторону сорбционных свойств [11, 12]. Поэтому при использовании сорбентов необходимо определить оптимальную дис-

перность частиц. Исходя из результатов, представленных на рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что оптимальным значением размера частиц опоки при извлечении ионов железа (II) является 1...3 мм.

В ходе исследований была определена динамическая сорбционная емкость опоки. Исследования осуществлялись путем пропускания модельных растворов сульфата железа (II) через модель фильтра, загруженного опокой (фракция 1...3 мм). Начальная концентрация железа (II) составляла 35 мг/л.

В ходе экспериментов приготовленный раствор соли железа подавался в модель фильтра с постоянным расходом 1,5...2,0 л/сут, при этом скорость фильтрования составляла 0,2...0,3 м/ч, а время пребывания воды в сорбционном фильтре в среднем составило 2,5 ч.

Для определения остаточной концентрации иона железа (II) и эффективности его удаления периодически производили отбор пробы фильтрата после сорбционного фильтра.

Согласно данным, представленным на рис. 5, ионы железа (II) практически полностью извлекаются из раствора, и в фильтрате на выходе их концентрация составляет 0,05...0,36 мг/л. Эффективность сорбции ионов железа (II) достигала 98,9 %.

За весь период эксперимента пропущено 80 л воды с концентрацией ионов железа (II) 35 мг/л, т. е. 2800 мг железа (II), из них сорбировано 2769,2 мг.



Рис. 5. Зависимость остаточной концентрации железа (II) от объема пропущенного модельного раствора

На рис. 6 представлена изотерма сорбции ионов железа (II) опокой в динамических условиях.

Согласно изотерме сорбции в динамических условиях поглощающие свойства опоки характеризуются эффективным извлечением ионов железа (II), максимальная динамическая сорбционная емкость составляет 0,51 мг/г.

Высокие значения статической и динамической сорбционной емкости опоки к ионам железа (II) можно объяснить следующим механизмом.

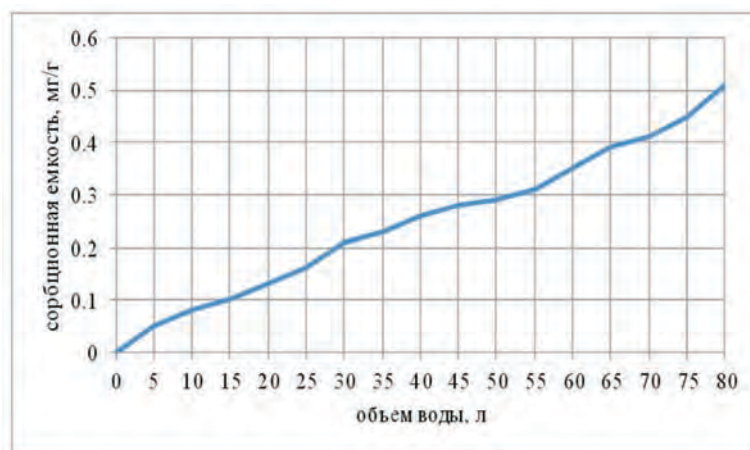


Рис. 6. Изотерма сорбции ионов железа (II) опоккой в динамических условиях

В состав опоки, согласно данным табл. 1, входит CaCO_3 , при взаимодействии с ним соли железа, входящие в состав подземных вод, переходят в карбонат железа по уравнению



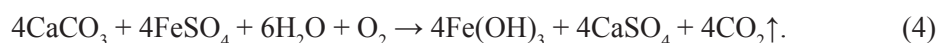
который гидролизуетс в гидроокись двухвалентного железа по уравнению



Затем двухвалентное железо окисляется до трехвалентного по уравнению



Все реакции можно выразить одним суммарным уравнением:



Основываясь на вышесказанном, можно утверждать, что процессу сорбции железа (II) из модельных растворов и реальных природных вод способствует наличие карбоната кальция в составе опоки.

Кроме того, в работах, проводимых в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова по исследованию механизма окисления закисного железа на зернистой загрузке, отмечается, что процесс окисления закисного железа в окисное происходит при фильтровании воды через зернистый слой (без предварительного окисления железа). Этот процесс сопровождается образованием на загрузке пленки из гидрата окиси железа, которая играет роль катализатора [14]. Следовательно, в основе очистки воды от железа методом фильтрования через опоку также лежит и автокаталитический процесс. Исследованиями также доказано, что только присутствие закисного железа в воде, поступающей на фильтрующую загрузку, обеспечивает образование пленки и высокий эффект обезжелезивания.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании ранее проведенного анализа и обобщения литературных данных по глубокой очистке природных вод от ионов железа обоснована принципиальная возможность применения для этой цели сорбционного фильтрования.

2. Экспериментальные исследования процессов сорбции ионов железа (II) предлагаемым сорбентом показали, что в качестве «агента связывания» ионов железа (II) в процессе их сорбционного удаления из водных сред целесообразно использовать опоку.

3. Установлено, что применение опоки для сорбционной очистки воды в статических условиях может обеспечить удаление из водных сред ионов железа (II) до нормативов воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды, до 0,3 мг/л.

4. Статическая сорбционная емкость опоки при равновесных концентрациях, равных 0,3 мг/л, для ионов железа (II) составляет 0,60 мг/г.

5. Установлено, что на сорбционную емкость опоки влияет размер частиц сорбента. Определен оптимальный размер частиц опоки, который находится в интервале 1...3 мм.

7. Выявлено, что применение опоки для сорбционного фильтрования может обеспечить удаление из водных сред ионов железа (II) до нормативов воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды, до 0,3 мг/л.

8. Динамическая сорбционная емкость опоки при остаточных концентрациях, равных 0,3 мг/л, для железа составляет 0,51 мг/г.

9. Установлено, что на сорбционную емкость опоки влияет расход очищаемой воды: с повышением количества очищенной воды динамическая сорбционная емкость увеличивается до некоторого максимального значения.

10. Выявлен механизм сорбции опокой ионов железа (II), который объясняет отсутствие необходимости предварительной аэрации очищаемой воды, обработки ее окислителями и применение каталитического окисления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журба М. Г., Соколов М. А., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: учеб. пособие: в 3-х т. Т. 1. Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения. изд. 3-е, перераб. и доп. М.: АСВ, 2010.
2. Проблема повышения содержания железа в воде и его действие на организм человека / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, А. К. Черкесов, Д. К. Хатулев, Т. А. Кузьмина // Молодежь, наука, инновации: III всерос. науч.-практ. конф., 24—26 октября 2014 г., г. Грозный. Т. 1. Грозный, 2014. С. 219—221.
3. Николадзе Г. И., Сомов М. А. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1995.
4. Использование природного минерала для очистки промывных вод / Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, А. А. Сахарова, А. В. Москвичева, К. В. Катеринин, Ю. Б. Белоусова // Вестник ВолгГАСУ. 2014. Вып. 47(66). С. 249—261.
5. Медяник В. С. Получение и применение углеродных сорбентов из ископаемых углей Кузнецкого бассейна: автореф. дис... канд. техн. наук. Кемерово, 2000. 30 с.
6. Вялкова Е. И. Исследование природных минералов и отходов производства Тюменской области и Уральского региона с целью очистки воды и грунтов: дис... канд. техн. наук. Тюмень, 1999. 180 с.
7. Дистанов У. Г., Конюхова Т. П. Минеральное сырье. Сорбенты природные: справ. М.: Геоинформмарк, 1999. 42 с.
8. Crist Ray H., Martin J. R. Use of a novel formulation of kraft lignin for toxic metal removal from process waters // Separ. Sci. and Technol. 2004. Vol. 39. No. 7. Pp. 1535—1545.
9. Palma G., Freer J., Baeza J. Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions // Water Res. 2003. Vol. 37. No. 20. Pp. 4974—4980.
10. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев: Наукова думка, 1981. 206 с.
11. Обезвреживание железосодержащих промывных вод / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, А. К. Черкесов, З. К. Ибрагимова // Современная наука и инновации. 2015. Вып. 2. С. 108—113.

12. Очистка промывных вод станции обезжелезивания / Э. П. Доскина, А. А. Сахарова, А. В. Москвичева, М. В. Рыльцева, Д. В. Шишкина // Технология очистки воды «Техновод-2016»: материалы IX международ. науч.-практ. конф., 5—7 октября 2016 г., г. Ростов-на-Дону. Ростов н/Д., 2016. С. 153—157.

13. Опои Астраханской области / Н. Н. Алыков, Т. В. Алыкова, Н. М. Алыков и др.; под ред. Н. М. Алыкова. Астрахань: АГУ, 2005. 138 с.

14. *Возная Н. Ф.* Химия воды и микробиология: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1979. 340 с.

© Москвичева А. В., Трегубов А. Ю., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Пухов М. В., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Сорбционная очистка воды подземных источников / А. В. Москвичева, А. Ю. Трегубов, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, М. В. Пухов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 160—169.

Об авторах:

Москвичева Анастасия Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Трегубов Алексей Юрьевич — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, alexey.tregubov94@yandex.ru

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

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Пухов Максим Вадимович — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, miximnegu@mail.ru

A. V. Moskvicheva, A. Yu. Tregubov, A. A. Sakharova, E. V. Moskvicheva, M. V. Pukhov

SORPTION PURIFICATION OF UNDERGROUND WATERS

The problem of sorption deironing of underground waters is considered. The article presents the results of the research proving the feasibility of use of mineral raw materials as a sorbent to purify water media from iron (II) ions. The mechanism for the absorption of iron (II) ions by a flask is proposed.

Key words: underground waters, sorption, mineral sorbents.

For citation:

Moskvicheva A. V., Tregubov A. Yu., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Pukhov M. V. [Sorption purification of underground waters]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 160—169.

About authors:

Moskvicheva Anastasia Vladimirovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Tregubov Aleksei Yur'evich — Master's Degree student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, alexey.tregubov94@yandex.ru

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

Moskvicheva Elena Viktorovna — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Pukhov Maksim Vadimovich — Master's Degree student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, miximnegu@mail.ru

УДК 628.8:628.511.1

В. Н. Азаров, Е. Ю. Козловцева

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ В ПОМЕЩЕНИИ ЗДАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Исследуется загрязнение воздушной среды помещений: наличие и дисперсный состав пылевых частиц, отобранных на «ловушки» в рабочем кабинете здания общественного назначения (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация). Установлен диапазон размеров твердых взвешенных частиц (фракционный состав) для пыли, находящейся в воздушной среде рабочего кабинета, в виде интегральных кривых распределения массы частиц по диаметрам. Определены максимальные разовые и среднесуточные концентрации взвешенных частиц в помещении, а также максимальные разовые концентрации при работе принтеров.

Ключевые слова: воздух помещений, качество внутреннего воздуха, загрязнение воздушной среды, дисперсный анализ, экология.

Введение. В настоящее время в России введены в действие гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10¹, которые с 21 июня 2010 г. устанавливают предельно допустимую концентрацию (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, мг/м³, для взвешенных веществ частиц размером менее 10 мкм (PM₁₀) и для частиц размером менее 2,5 мкм (PM_{2,5}). Гораздо менее изучено влияние твердых взвешенных частиц, находящихся в воздухе помещений, на самочувствие и здоровье людей. Отсутствуют ограничения по содержанию пылевых частиц в бытовых, офисных, учебных помещениях, т. е. неиндустриальных помещениях, хотя, согласно данным Агентства по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency USA), внутренние уровни загрязняющих веществ могут быть в 2...5 и более раз выше, чем на открытом воздухе [1]. Важность вопроса обусловлена тем, что люди находятся в помещении продолжительное время.

Качество воздуха в таких помещениях является залогом комфортного состояния, хорошего здоровья и высокой производительности на рабочем месте, влияет на процесс обучения школьников и студентов. Во многих случаях проблемой становится влияние современного оборудования (работа офисной техники), применение отделочных строительных материалов при строительстве и ремонте, использование химических средств для уборки помещений [2—4]. Жалобы офисных работников на здоровье, увеличение числа аллергических реакций и заболеваний дыхательных систем у детей и подростков, более частое употребление термина «синдром больных зданий», ставшего популярным в начале 1990-х гг. в г. Берлине, — все это актуализирует проблему влияния неопределенных факторов риска в неиндустриальных рабочих помещениях [2,3, 5—8].

¹ ГН 2.1.6.2604-10. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338-03 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19 апреля 2010 г. № 26) / Гарант: справочная правовая система. URL: <http://base.garant.ru>

Твердые взвешенные частицы (сокр. РМ — от англ. «particulate matter»), находящиеся в воздушной среде закрытых помещений, представляют собой совокупность попадающей в здание уличной пыли от объектов промышленности, коммунально-бытовой пыли и частиц автодорожной пыли от функционирования транспортно-дорожного комплекса, а также присутствующей в здании пыли, образующейся в результате работы оргтехники, истирания подошв обуви, старения отделочных материалов. Всю поступающую в здание пыль можно классифицировать как смешанную, т. е. как смесь органической (растительная, животная и искусственная органическая) и неорганической (минеральная) пыли.

Однако классификация по происхождению не дает достаточной информации для гигиенической оценки. Поэтому для данной цели чаще всего используют классификацию по размерам частиц, так как концентрации мелкодисперсной пыли связаны с сердечно-сосудистыми, респираторными и другими заболеваниями [9—11].

В дыхательных путях происходит два процесса: задержка и выделение поступивших частиц. В верхних дыхательных путях задерживается 80...90 % частиц величиной до 10 мкм, в альвеолярную область поступает 70...90 % частиц размером 1...2 мкм и менее [12].

Рассмотрим более подробно один из внутренних источников пылеобразования, а именно тонерную пыль. Тонер используется для печати принтерами и копировальными машинами и представляет собой органический порошок с частицами диаметром приблизительно 0,3...10,0 мкм, содержит углеродную сажу в качестве черного красителя. Негативное воздействие тонерных частиц на здоровье человека рассмотрено в докладах [13—16].

Выбросы аэрозолей, образующихся в результате работы офисных устройств или устройств лазерной печати, были описаны в течение нескольких лет в ряде исследований [17—22].

Информации по количественной оценке твердых частиц, выделяемых оргтехникой, не так много. М. Wensing и др. [23] сообщали о распределении частиц по размерам аэрозоля, испускаемого десятью различными печатными устройствами (лазерные принтеры и многофункциональные устройства). В каждом случае преобладали ультратонкие частицы (< 100 нм): измеренное количество частиц находилось в диапазоне 500...343 на 1 см^3 для частиц > 7 нм, но значительно ниже (6...38 на 1 см^3) для частиц > 100 нм.

Ввиду актуальности упомянутых проблем в настоящей работе рассматривалась воздушная среда помещений с наличием оргтехники. В исследовании объектом мониторинга был рабочий кабинет со следующими характеристиками: высота помещения 2,7 м; материалы отделки — штукатурка (потолок), обои (стены), линолеум (пол), наличие оргтехники (персональный компьютер, два принтера); окна с двойным остеклением и форточкой. Исследования проводились в летний период года, т. е. кабинет систематически проветривался — поступала «уличная» пыль.

Методы исследования. Исследования фракционного состава пыли проводились оптическим методом. Методика основана на микроскопическом анализе пылевых частиц с применением микрофотопроставки и персонального

компьютера (ПК) при расчете фракционного состава пыли по размерам пылевых частиц с помощью программного продукта SPOTEXPLORER V1.0.

На основе данных были построены интегральные функции распределения массы частиц пыли по диаметрам по аналогии с работами [24—28]. Графики были построены в вероятностно-логарифмической сетке. Таким образом был произведен анализ дисперсного состава пылевых частиц, находящихся в воздухе помещения.

Так как степень агрессивного воздействия пыли на организм зависит не только от дисперсности (степени измельчения частиц пыли), но и от ее концентрации, химического состава и физико-механических свойств (способности коагулировать, электрозаряженности, адсорбционной активности и т. д.), в работе были определены фактические значения максимальных разовых и среднесуточных концентраций, а также максимальные разовые концентрации при работе принтера HP LaserJet 1018 и многофункционального устройства (МФУ) HP LaserJet M1522n.

Значения максимальных разовых концентраций определялись с помощью фотометрического метода. На этом принципе основана работа прибора CEL-712 Microdust Pro, который применялся при исследовании. Контроль содержания твердых взвешенных частиц в воздухе производился с целью сравнения измеренных концентраций с их предельно допустимыми значениями².

Результаты. Обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить диапазон фракционного состава измеряемых пылевых частиц в вероятностно-логарифмической сетке *I* (рис. 1). Результаты исследования были сведены в табл. 1.

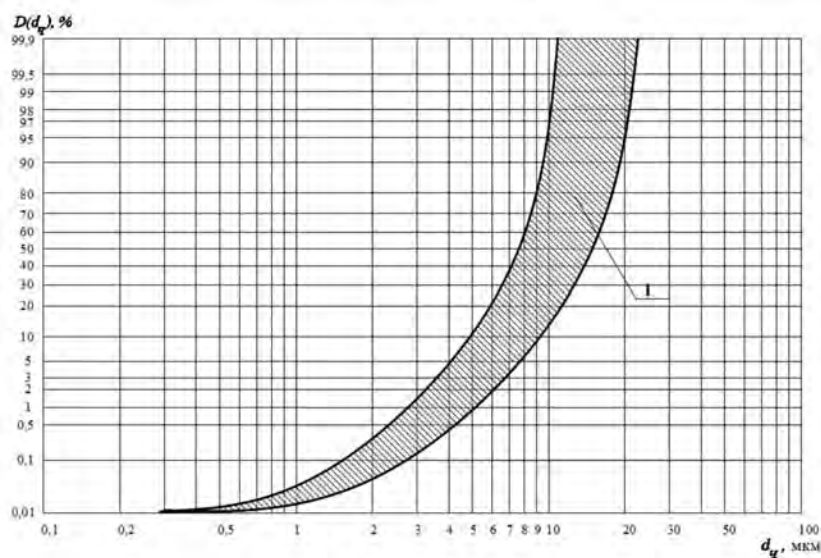


Рис. 1. Диапазон интегральных кривых распределения массы частиц пыли, отобранных в рабочем кабинете, по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке: $D(d_p)$ — содержание частиц пыли, %, в определяемом дисперсионном диапазоне, установленном по размеру (диаметру) пылевидных частиц d_p

² Там же.

По полученным результатам измерений (см. табл. 1) были построены аппроксимирующие графики (рис. 2). Коэффициент достоверности аппроксимации для данных графиков: $0,44 < R^2 < 0,79$. По полученным данным видно, что максимальный диаметр частиц уменьшается по высоте помещения.

Таблица 1

Характеристика распределения фракционного состава пылевых частиц

Место «ловушек» в помещении	Высота относительно уровня пола, м	Минимальный диаметр частиц $d_{\min}$, мкм	Средний диаметр частиц d_{mean} , мкм	Максимальный диаметр частиц $d_{\max}$, мкм	Доля $PM_{2,5}$, %	Доля PM_{10} , %
Пол (около системного блока ПК)	0	0,3	4,725	21,78	3	99
У вентилятора системного блока ПК	0,35	0,3	5,475	10,65	0,5	95
На столе, вблизи принтера	0,8	0,4	5,4	10,4	1	97
Полка над монитором	1,4	0,4	3,735	7,07	2	99
Книжная полка (0,6 м до потолка)	2,1	0,28	5,18	10,08	1	88

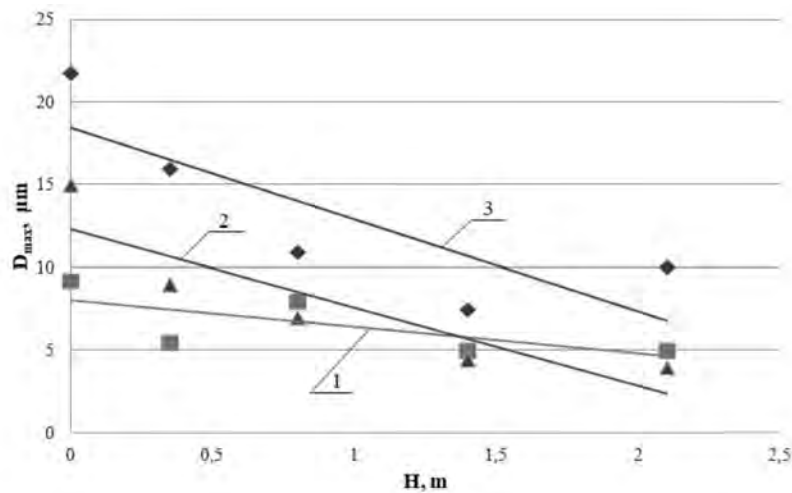


Рис. 2. Графики корреляционной зависимости максимального диаметра частиц $D_{\max}$ от высоты H расположения мест отбора проб: 1, 2, 3 — функции распределения частиц, отобранных на «ловушки» в различные периоды времени; ■ — точки, соответствующие функции 1; ▲ — точки, соответствующие функции 2; ◆ — точки, соответствующие функции 3

Значения максимальных разовых и среднесуточных концентраций взвешенных частиц, а также их сравнение с предельно допустимыми значениями концентраций взвешенных веществ в РФ³ приведены в табл. 2.

³ Там же.

Т а б л и ц а 2

Характеристика максимальных разовых и среднесуточных концентраций взвешенных частиц и сравнение их с предельно допустимыми значениями ПДК

Взвешенные частицы	Измеренные концентрации		Норматив		
	Максимальная	Среднесуточная	Величина ПДК		
			Максимальная разовая	Среднесуточная	Среднегодовая
PM ₁₀ , мг/м ³	0,020	0,010	0,30	0,06 <*>	0,040
PM _{2,5} , мг/м ³	0,009	0,008	0,16	0,035 <*>	0,025

Примечание: <*> — 99-й процентиль.

Таким образом, среднесуточные концентрации PM_{2,5} и PM₁₀ не превышают нормативные величины ПДК.

Поскольку согласно данным [29] размер тонерной пыли составляет не более 10 микрон (± 4 мкм), интерес представляют исследования концентраций взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в зависимости от расстояния до «источника пылевыведения» (в данном исследовании это принтер HP LaserJet 1018 и МФУ HP LaserJet M1522n) при интенсивной печати. Измерения концентраций проводились в течение 20-минутной непрерывной печати. Значения максимальных разовых концентраций представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Характеристика максимальных разовых концентраций взвешенных частиц в зависимости от расстояния до «источника пылевыведения» в момент работы (печати)

Расстояние от источника пылевыведения, м	Максимальные разовые концентрации взвешенных частиц			
	HP LaserJet 1018		HP LaserJet M1522n	
	PM _{2,5} , мг/м ³	PM ₁₀ , мг/м ³	PM _{2,5} , мг/м ³	PM ₁₀ , мг/м ³
0	0,003	0,005	0,004	0,005
0,5	0,004	0,004	0,003	0,005
1,0	0,003	0,004	0,005	0,005

Таким образом, превышения нормативов ПДК при работе принтеров не установлены, а максимальные разовые концентрации взвешенных частиц находятся примерно на одинаковом уровне. Необходимо исследовать частицы специальными приборами — ручными счетчиками, позволяющими более точно отслеживать количество твердых взвешенных частиц тонерной пыли. Однако на поведение и концентрации частиц могут влиять различные факторы, такие как модель принтера, срок использования, модель картриджа и дата его последней заправки. Все эти факторы требуют дальнейшего изучения в русле данной тематики.

Выводы. Представленные данные свидетельствуют о том, что измеряемые пылевые частицы внутри помещения находятся в диапазоне 0,28...21,78 мкм, что подтверждает наличие мелкодисперсных твердых взвешенных частиц, которые могут долгое время находиться в состоянии броуновского движения и проникать в легкие, т. е. наличие частиц, наиболее опасных для здоровья человека.

Результаты исследования фракционного состава пылевых частиц позволили оценить долю $PM_{2,5}$ и PM_{10} . В исследуемых пробах доля $PM_{2,5}$ составила 0,5...3,0 %, доля PM_{10} — 88...99 %. Также установлена корреляционная зависимость распределения максимального диаметра частиц от высоты расположения отобранной пробы (см. рис. 2): он уменьшается от пола к потолку. Таким образом, крупные частицы ввиду своего большого диаметра и, как следствие, высокой скорости падения сразу осаждаются на пол и близко расположенные к нему поверхности, а высокодисперсная пыль не осаждается даже в спокойном воздухе, постоянно перемещаясь в воздушном пространстве. На высоте 2,1 м от уровня пола (книжная полка) зафиксирован больший диаметр, чем на высоте 1,4 м от уровня пола (полка над монитором). Это объясняется близким расположением потолка относительно места отбора пробы и наличием на нем старых отделочных материалов (осыпается штукатурка, помещение требует ремонта).

Значения максимальных разовых и среднесуточных концентраций взвешенных частиц в помещении не превышают установленных нормативов ПДК. Анализируя концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} при интенсивной работе (печати) принтера, можно сделать вывод о том, что максимальные разовые концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ находятся в диапазоне 0,003...0,005 мг/м³.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Indoor Air Facts No. 4 (revised). Sick Building Syndrome. Research and Development (MD-56), Air and Radiation (6609J) / US EPA (United States Environmental Protection Agency). February 1991. 4 p.
2. Organic compounds in office environments / P. Wolkoff, C. K. Wilkins, P. A. Clausen, G. D. Nielsen // *Indoor Air*. 2006. No. 16. P. 7—19.
3. Morawska L., He C., Taplin L. Particle emission characteristics of office printers // *Environmental science & technology*. 2007. Vol. 4. Pp. 6039—6045.
4. Polybrominated diphenyl ethers in U.S. computers and domestic carpet vacuuming: possible sources of human exposure / A. Schecter, O. Päpke, J. E. Joseph, K. C. J. Tung // *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 2005. Vol. 67. No. 7. Pp. 501—513.
5. Living near main street and respiratory symptoms in adults. The Swiss cohort study on air pollution and lung diseases in adults / L. Bayer-Oglesby, C. Schindler, A. M. Hazenkamp-von et al. // *American Journal of Epidemiology*. 2006. Vol. 164. Pp. 1190—1198.
6. Perceptions of indoor air quality associated with ventilation system types in elementary schools / R. M. Kinshella, V. M. Van Dyke, E. K. Douglas et al. // *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2001. Vol. 16. No. 10. Pp. 952—960.
7. Woodcock R. C. *Occup. Health Safety*. 2000. May. Vol. 69. No. 5. Pp. 56—58, 60, 62.
8. Heuberger F. Sick Building Syndrom — Der Einfluß von RLT-Anlagen auf Gesundheits und Befindensstörungen von Menschen in Aufenthaltsräumen. Diplomarbeit am Fachbereich Versorgungs- und Energietechnik der Technischen Fachhochschule. Berlin, 1994.
9. National Ambient Air Quality Objectives for Particulate Matter. Part 1: Science Assessment Document / Health Canada and Environment Canada, 1999.
10. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide // Global update 2005. Summary of risk assessment / World Health Organization (WHO), 2005.
11. Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final Report) / US EPA (United States Environmental Protection Agency). Washington, DC, 2009.
12. Лужников Е. А. Медицинская токсикология: национальное руководство / Под ред. Е. А. Лужникова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. 928 с.
13. Armbruster C., Dekan G., Hovorka A. Granulomatous pneumonitis and mediastinal lymphadenopathy due to photocopier toner dust. *Lancet*, 348, 1996. P. 690.
14. Wieriks J. Photocopier toner dust and lung disease. *Lancet*, 348, 1996. Pp. 1518—1519.

15. Occupational asthma and allergic due to xerographic toner / T. Witczak, J. Walusiak, U. Ruta, C. Palczynski // *Allergy*. 2003. No. 58. P. 957.
16. Nanoparticles from photocopiers induce oxidative stress and upper respiratory tract inflammation in healthy volunteers / M. Khatri, D. Bello, P. Gaines, J. Martin, A. K. Pal, R. Gore, S. Woskie // *Nanotoxicology*. 2013. No. 7. Pp. 1014—1027.
17. *Bake D., Moriske H.-J.* Untersuchungen zur Freisetzung feiner und ultrafeiner Partikel beim Betrieb von Laserdruck-Geräten, Umweltbundesamt UBA, 2006.
18. Time and Size-Resolved Characterization of Particle Emissions from Office Machines / S. Seeger, O. Wilke, M. Bucker, O. Jann // *Proc. Int. Conf. Healthy Buildings*, 2006. Lisboa, Portugal. Vol. II. Pp 447—450.
19. Prüfung von Emissionen aus Bürogeräten während der Druckphase zur Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Laserdrucker und Multifunktionsgeräte unter besonderer Berücksichtigung der Sicherung guter Innenraumluftqualität / O. Wilke, O. Jann, D. Brödner, U. Schneider, Ch. Krocker, S. Kalus, S. Seeger, M. Bucker. Forschungsbericht: Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit — Förderkennzeichen (UFOPLAN) 204 95 373 / UBA-FB 001159 — Abschlussbericht 35 (2008) 8, p1-164; Hrsg.: Umweltbundesamt, 2008.
20. Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers environ / T. Schripp, M. Wensing, E. Uhde, T. Salthammer, C. He, L. Morawska // *Environmental science & technology*. 2008. Vol. 42. No. 12. Pp. 4338—4343.
21. Comparison of ultrafine particle release from hardcopy devices in emission test / T. Schripp, S. J. Mulakampilly, W. Delius, E. Uhde, M. Wensing, T. Salthammer, R. Kreuzig, M. Bahadir, L. Wang, L. Morawska // *Gefahrstoffe — Reinhaltung der Luft*. 2009. Vol. 69. No. 3. Pp. 71—76.
22. An investigation into the characteristics and formation mechanisms of particles originating from the operation of laser printers / L. Morawska, C. He, G. Johnson, R. Jayaratne, T. Salthammer, H. Wang, E. Uhde, T. Bostrom, R. Modini, G. Ayoko, P. McGarry, M. Wensing // *Environmental science & technology*. 2009. Vol. 43. No 4. Pp. 1015—1022.
23. Particle measurement of hardcopy devices / M. Wensing, G. Pinz, M. Bednarek, T. Schripp, E. Uhde, T. Salthammer // *Proceedings of the Healthy Building: Conference*, 2006. Lisbon, Portugal. Vol. II. Pp. 461—464.
24. Об исследовании загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью с использованием аппарата случайных функций / В. Н. Азаров, Н. С. Барикаева, Д. А. Николенко, Т. Соловьева // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 4(38). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>
25. *В. Н. Азаров, М. В. Трохимчук, О. П. Сидельникова.* Research of Dust Content in the Earthworks Working Area // *Procedia Engineering: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016)* / Ed. by A. A. Radionov [Elsevier publishing]. 2016. Vol. 150. Pp. 2008—2012.
26. *Азаров В. Н., Кошкарёв С. А.* Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура*. 2016. Вып. 43(62). С. 161—174.
27. О дисперсном составе пыли в воздушной среде в производстве строительных материалов / В. Н. Азаров, Н. А. Маринин, Р. А. Бурханова, А. В. Азаров // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура*. 2013. № 30. С. 256—260.
28. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$ и PM_{10}) в воздушной среде / В. Н. Азаров, И. В. Тертишников, Е. А. Калюжина, Н. А. Маринин // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 25(44). С. 402—406.
29. *Hiroshi Koseki.* Study and Countermeasure of Hazard of Dust Explosion of Various Toner Cartridges [Электронный ресурс] // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 84. Pp. 273—279. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.434>

© Азаров В. Н., Козловцева Е. Ю., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Азаров В. Н., Козловцева Е. Ю. Исследование распределения частиц пыли в помещении здания общественного назначения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 170—177.

Об авторах:

Азаров Валерий Николаевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ptb2006@mail.ru

Козловцева Елена Юрьевна — аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, elenakozlovitseva@gmail.com

V. N. Azarov, E. Yu. Kozlovitseva

ANALYSIS OF DUST PARTICLES DISTRIBUTION INDOORS IN PUBLIC BUILDINGS

The indoor air pollution is analyzed in the article. The subject of the research is the presence and composition of the dust particles taken into “traps” in the working space of the public building (Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation). The research has established the range of sizes of the particulate matter (fractional composition) for the dust in the air of the working space in the form of integral curves for the mass distribution of particles with to their diameters. The maximum single and average daily concentrations of suspended particles in the room, as well as the maximum one-time concentrations in the operation of printers are determined.

Key words: indoor air, indoor air quality, air pollution, disperse analysis, ecology.

For citation:

Azarov V. N., Kozlovitseva E. Yu. [Analysis of dust particles distribution indoors in public buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2018, iss. 51(70), pp. 170—177.

About authors:

Azarov Valerii Nikolaevich — 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, ptb2006@mail.ru

Kozlovitseva Elena Yur'evna — Postgraduate student of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, elenakozlovitseva@gmail.com

УДК 69.331.438

В. А. Сенченко^а, С. Л. Пушенко^б, Е. В. Стасева^б

^а ПАО «Ростелеком»

^б Донской государственный технический университет

КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫСОТНЫХ РАБОТ НА КРЫШАХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО СЕВЕРА

Работы на высоте относятся к работам с повышенной опасностью. Травматизм, связанный с выполнением таких работ в строительстве, составляет более 25 % от всех травм. Работы на высоте, осуществляемые в условиях арктического севера, сопряжены также со сложными климатическими условиями. Поэтому в арктическом климате для обеспечения безопасности работ на высоте на стадии проектирования и строительства зданий и сооружений должны учитываться все необходимые меры безопасности. Проведенный анализ показал невозможность применения на крышах переносных анкерных устройств, в связи с чем уже на стадии проектирования и строительства крыш требуется предусматривать и устанавливать стационарные анкерные устройства. Предложена конструкция подобного анкерного устройства.

Ключевые слова: арктический Север, работа на высоте, безопасность, крыша здания, анкерное устройство.

В настоящее время в мире наблюдается проявление интереса к арктическим территориям. Планируются значительные капитальные вложения в освоение природных богатств этого региона. Россия — одна из немногих стран, которая имеет выход к побережью Северного Ледовитого океана. К континентальной части российской Арктики относятся территории Архангельской области, Республики Коми, полуострова Ямал и Гыдан, равнинный Таймыр. Данные территории располагают уникальными запасами нефти и газа, к разработке которых Россия только приступает. Именно по этим причинам расширение или удержание за собой ценнейших в будущем арктических территорий и развитие на них инфраструктуры — одна из приоритетных задач в политике России.

Основными проблемами освоения данного региона являются местные экстремальные климатические условия, отсутствие инфраструктуры и удаленность от развитых регионов страны.

Климат Арктики считается одним из наиболее холодных и суровых на планете. Во время полярной ночи (от 50 до 150 дней в год) к Земле не поступает солнечная энергия, и потому температура воздуха опускается до очень низких значений. В период короткого лета, несмотря на относительное обилие солнечной энергии, большой объем тепла поглощается облаками, снегом и льдом¹.

Для этих районов характерно снижение температуры до $-55...-60$ °С. В результате сильного выхолаживания поверхности наблюдается инверсия температуры воздуха. Арктическому климату свойственна достаточно низкая абсолютная влажность воздуха (парциальное давление водяного пара состав-

¹ Арктика: долгосрочная стратегия России и военные базы. URL: <https://cont.ws/@averbov/453132>

ляет от 0,5 до 2,0...3,0 мбар), тогда как относительная влажность достаточно высока — 80...90 %².

Работа на открытом воздухе в условиях низких температур имеет ряд ограничений физиологического характера. Охлаждение тела человека приводит к изменениям в его двигательной активности, нарушает координацию движений и снижает способность выполнять точные операции; вызывает тормозные процессы в коре головного мозга, способствует развитию патологий. Основная роль в защите человека от холода принадлежит поведенческой терморегуляции, которая заключается в активном, целенаправленном регулировании термической нагрузки на организм³.

В связи с необходимостью проведения работ на открытой территории в холодный период года большое значение имеют СИЗ от холода. Однако обеспечить должную защиту человека от переохлаждения в суровых климатических условиях Арктики при помощи одной лишь одежды не представляется возможным, главным образом из-за низкой эффективности утепления стоп и кистей, а также в связи с охлаждением лица и органов дыхания. Все это говорит о необходимости регламентации времени пребывания человека на холоде и времени, необходимого на обогрев, применительно к различным метеоусловиям, физической активности, теплоизоляции СИЗ⁴. Для защиты от пониженных температур действующим Российским законодательством определен режим труда и отдыха для всех видов категории работ. Работы на высоте по энергозатратам можно отнести к категории работ Па—Пб.

Многие работы при строительстве зданий и сооружений проводятся на высоте. Эти работы относятся к наиболее травмоопасным, при которых стабильно высока доля тяжелого и смертельного травматизма⁵. Действующие Правила по охране труда при работах на высоте⁶ предписывают проведение ряда мероприятий организационного и технического характера, выполнение которых снизит риск возникновения несчастных случаев до допустимого уровня. К техническим мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ на высоте, относят системы обеспечения безопасности производства работ. Такие системы состоят:

- а) из анкерного устройства;
- б) специальной страховочной привязи (для обеспечения удержания в определенной позе или сидя);
- в) соединительно-амортизирующей подсистемы (стропы, канаты, карабины, амортизаторы, средство защиты втягивающегося типа, средство защиты от падения ползункового типа на гибкой или на жесткой анкерной линии).

Таким образом, одним из основных элементов системы обеспечения безопасности работ на высоте является анкерное устройство, к которому предъявляются высокие требования.

² Арктический климат. URL: <http://protown.ru/information/hide/4328.html>

³ МР 2.2.7.2129-06. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. М., 2006.

⁴ Там же.

⁵ Письмо Росстата «Данные о среднесписочной численности работников строительства и связи, а также распределение пострадавших по основным видам происшествий, приведших к несчастному случаю в российской Федерации за 2015 год» от 29.07.2016 г.

⁶ Приказ Минтруда России «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» от 28.03.2014 № 155н «КонсультантПлюс». URL: <http://www.infocom.su>

В настоящее время при строительстве зданий и сооружений при работе на высоте крепление страховочных систем в основном возможно с помощью переносных анкерных точек и линий. В Арктике монтаж переносных анкерных точек и линий довольно затруднителен из-за сложных климатических условий, а также вследствие необходимости выполнять требования нормативных документов⁷.

Использование переносных анкерных устройств, относящихся к классу Е и действующих по принципу противовеса, в условиях Арктики практически невозможно. На это указывают требования нормативного документа⁸, так как переносной анкер можно использовать только на ровных горизонтальных поверхностях. Поверхность, где он устанавливается, не должна быть сырой, обледенелой или скользкой, что в арктических условиях выдержать практически невозможно. Нельзя применять переносной анкер, когда существует риск образования инея или обледенения на крыше, а сама крыша загрязнена нефтепродуктами, смазкой, песком, каменной крошкой и т. п.

Кроме того, при применении переносных анкеров часто возникает проблема нарушения целостности кровельного материала при его установке и снятии. После того как будет снято переносное анкерное устройство, произойдет нарушение кровли, что приведет к возможному ослаблению прочности. При креплении анкерного устройства при помощи установки самонарезных винтов в несущие элементы крыши (стропильная нога или коньковый брус) может быть нарушена несущая способность конструкции крыши. Крепление анкерного устройства при помощи самонарезных винтов в обрешетку крыши недопустимо, так как доски, используемые при строительстве обрешетки крыши, не рассчитаны на нагрузки в 22 кН. Поэтому при необходимости удержания человека при падении анкерная точка не выполнит своего предназначения. В такой ситуации определить через кровельный материал необходимое место крепления (анкерную точку) не представляется возможным, а оценка целостности кровельного материала «на ощупь» не является достоверной.

Все вышесказанное доказывает, что применять переносные анкерные устройства в условиях арктического климата невозможно. Важную роль при выполнении работ на высоте также играет страховочное оборудование, которое должно быть функциональным и надежным. Поэтому к такому оборудованию предъявляются повышенные требования, и оно должно быть оценено на возможность риска разрушения его элементов.

На проявление степени риска при выполнении работ на высоте влияют следующие факторы: возможность падения с высоты, риск использования неисправного страховочного оборудования, ошибки самого исполнителя, тяжесть ущерба от обстановки падения [1, 2]. Поэтому для оценки риска работы на высоте проанализируем наиболее широко применяемую схему системы обеспечения безопасности (графическая схема 2 Приложения 10 в Правилах по охране труда при работе на высоте⁹), которая представлена на рис. 1, а.

⁷ ГОСТ Р ЕН 795-2014. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Устройства анкерные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016.

⁸ Там же.

⁹ Приказ Минтруда России «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» от 28.03.2014 № 155н // «КонсультантПлюс». URL: <http://www.infocom.su>

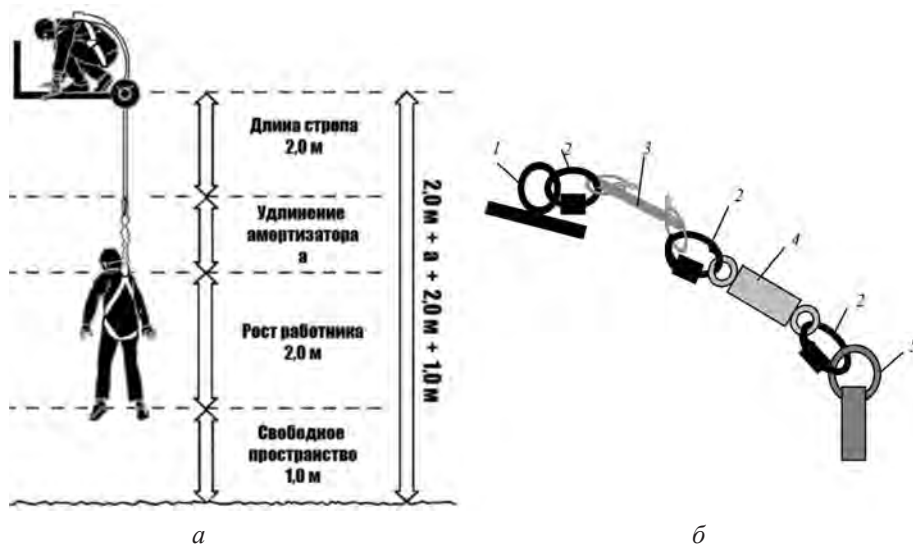


Рис. 1. Графическая схема определения степени риска: *а* — графическая схема; *б* — схема строповочной цепи: 1 — структурный анкер; 2 — карабин; 3 — канат страховочной системы; 4 — амортизатор; 5 — страховочная привязь

Используя результаты работы авторов [3], несложно подсчитать степень риска разрушения одного из элементов страховочной цепи, показанной на рис. 1, б. Принимаем для страховочной цепи следующие элементы:

карабин, выпускаемый фирмой «ВЕНТО» (из легкого сплава, большая ось, запирающий элемент закрыт и зафиксирован¹⁰); риск разрушения карабина составляет 0,000053;

страховочный канат (Правила по охране труда при работе на высоте рекомендуют полиамидный шнур диаметром 10...12 мм; принят канат диаметром 11 мм); риск разрыва каната составляет 0,000115;

амортизатор; риск разрушения амортизатора составляет 0,000068.

С учетом принятых элементов страховочной цепи риск ее использования составит 0,000342. Данный уровень риска при выполнении таких опасных работ вполне приемлем.

Действующие документы по устройству крыш и кровель, такие как СП 17.13330.2011 «Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76» и СТО НОСТРОЙ 2.13.81-2012 «Крыши. Требования к устройству, правилам приемки и контролю», предусматривают наличие систем и специальных элементов обеспечения безопасности работ на высоте, а именно элементов для крепления страховочных тросов, ступеней, подножек, стационарных лестниц и ходовых трапов, эвакуационных платформ и др.

В соответствии с СП 31-116-2006 «Проектирование и устройство кровель из листовой меди»:

на крышах зданий высотой 10 м и более при уклоне крыши, превышающем 18 %, должно быть предусмотрено ограждение в виде металлической решетки;

¹⁰ Средства защиты от падения с высоты VENTO. URL: http://www.vento.ru/images/VENTO_Pro_2016.pdf

при производстве работ на крыше с уклоном более 30 %, а также в случае работы на свесах крыши при отсутствии ограждений рабочие должны работать с предохранительными поясами и страховочными веревками, прикрепленными к надежно закрепленным элементам крыши.

Таким образом, настоящие нормативные требования по охране труда и устройству крыш носят общий характер и не учитывают специфику работ в условиях арктического севера. Поэтому необходимо еще на стадии разработки проекта здания (крыши) предусматривать конкретные мероприятия по безопасности. Это связано с большим разнообразием конфигураций крыш, разным расположением инженерных систем, и в каждом конкретном случае необходимо принимать индивидуальные решения. Но на практике эти решения очень трудно осуществить.

В настоящее время используется наиболее простой и безопасный способ подъема работника — при помощи строительных лесов или подъемника (вышки). Однако с технической и экономической точки зрения в климатических условиях Арктики при строительстве, ремонте или других видах работ на крыше он не всегда осуществим. В связи с этим работа на крыше без применения строительных лесов и подъемника — самый простой и малозатратный способ. Если работа на крыше ведется без средств механизации, то для обеспечения безопасности требуется использовать описанную выше систему (см. рис. 1). Один из элементов страховочной системы — это анкерное устройство. Для применения страховочных систем на крыше (относительно места проведения работ) необходимо иметь анкерную точку или анкерную линию.

В настоящее время вопросу безопасности работ на высоте в соответствии с действующими в России нормативными документами посвящен ряд работ [1—7]. Для решения проблемы предлагается в качестве технического решения уже при проектировании и строительстве крыши здания, которое будет эксплуатироваться в условиях Арктики, *сразу предусматривать анкерные точки или анкерные линии* для крепления страховочных систем. Для этого необходимо на законодательном уровне внести дополнения в отраслевые и межотраслевые требования строительных норм и норм охраны труда. Устройство анкерной линии при проектировании крыш или отдельных анкерных точек для возможности организации гибкой анкерной линии для обеспечения безопасности работ на крыше.

С технической точки зрения анкерное устройство (анкерная линия) не будет сложным элементом крыши. Это могут быть несколько точек крепления на выходе на крышу или металлическая анкерная линия, закрепленная в нескольких местах на коньке крыши, как это показано на рис. 2 и 3. При этом себестоимость анкерной линии будет небольшой, а внедрение такого устройства не ляжет тяжелым бременем на себестоимость расходов на строительство крыш. Внедрение анкерных устройств при строительстве и ремонте крыш позволит обеспечить безопасность работ на высоте в соответствии с действующим законодательством. Это будут доступные и практичные устройства *для всех категорий работающих на крыше*, что, в свою очередь, решит проблему нарушения целостности крыши [1, 2, 7].

В качестве практического технического решения для организации стационарной анкерной точки для закрепления средств защиты при работе на высо-

те, которое преимущественно может быть использовано на скатных крышах зданий, имеющих деревянную стропильную систему, можно предложить конструкцию, показанную на рис. 4 [6].

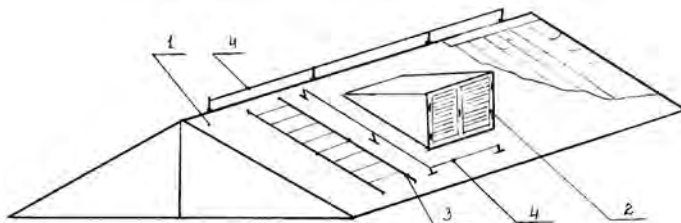


Рис. 2. Схема стационарной анкерной линии на двухскатной крыше: 1 — крыша; 2 — слуховое окно; 3 — лестница; 4 — стационарная анкерная линия



Рис. 3. Страховка на крыше

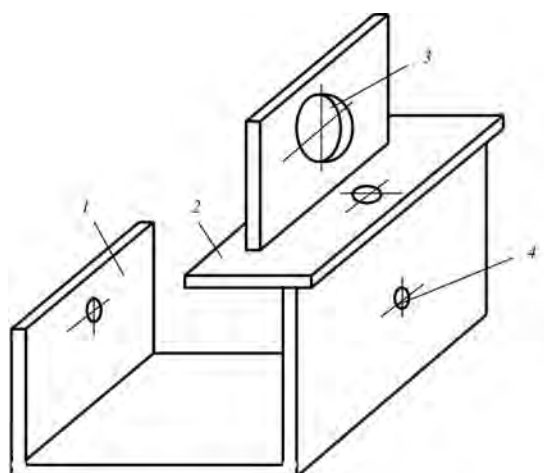


Рис. 4. Стационарная анкерная точка для крыши

Стационарная анкерная точка для крыши выполнена из листовой нержавеющей стали в виде кронштейна, на верхней части которого выполнено отверстие 3 для крепления средств защиты при работе на высоте, нижняя часть кронштейна 1 выполнена П-образной формы для крепления за деревянный брус несущей конструкции крыши. Устройство крепится неподвижно, например путем саморезов через отверстия 4. После настила на крышу кровельного покрытия анкерная точка выступает в виде пластины с отверстием для крепления средств защиты от падения с высоты. Поверх выступающей части анкерной точки надевается накладка для защиты от попадания влаги через разрыв в кровельном материале. Накладка крепится к кровельному материалу самонарезными винтами. Таким образом, сохраняется герметичность кровельного покрытия в месте установки анкерной точки на крыше. Соблюдение нормативной нагрузки, прилагаемой к анкерному устройству, обеспечивается надежностью всей конструкции крыши.

Выводы:

1. Значительные статистические данные о производственном травматизме при выполнении работ на высоте свидетельствует, что разработка мероприятий по совершенствованию мер обеспечения безопасности работ на высоте является актуальной задачей.
2. В условиях арктического климата при выполнении работ на высоте недопустимо применять переносные анкерные устройства.
3. Для обеспечения безопасности работ на высоте в условиях арктического климата необходимо все анкерные устройства проектировать и устанавливать при строительстве зданий и сооружений.
4. Предложена схема обеспечения безопасности работ на скатных крышах зданий, когда организуется стационарная анкерная точка для крепления средств защиты от падения с высоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Анализ и профилактика производственного травматизма при возведении высотных зданий и выполнении работ на высоте // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2016. № 44(63). С. 157—165.
2. Стасева Е. В., Пушенко С. Л. Основы методического подхода к совершенствованию организации охраны труда в строительстве на основе системы управления рисками // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22. № 4(22). С. 165.
3. Ступаков А. А., Леликов Г. Д. Расчет рисков от использования средств индивидуальной защиты от падения с высоты // Техника безопасности в строительстве. 2014. № 12(846). С. 50—54.
4. Сенченко В. А., Карауш С. А. Анкерная точка на опоре как элемент обеспечения безопасности работ на высоте // Строительство: новые технологии — новое оборудование. 2016. № 7. С. 50—53.
5. Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т. Производство работ на двухскатных крышах // Охрана труда и техника безопасности в строительстве. 2017. № 3(147). С. 36—43.
6. Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т. Анкерная точка как элемент систем безопасности работ на двухскатных крышах // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 5(69). С. 249—257.
7. Стационарная анкерная точка на крыше: пат. 170531 Рос. Федерация: МПК: E04G 21/32 / СПбПУ. № 2016145204; зарег. 17.11.2016.

© Сенченко В. А., Пушенко С. Л., Стасева Е. В., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

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 Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 178—185.

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

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, 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, elena_staseva@mail.ru

V. A. Senchenko, S. L. Pushenko, E. V. Staseva

CONCEPT OF TECHNICAL SECURITY MEASURES WHEN PERFORMING HIGH-RISE WORKS ON ROOFS OF BUILDINGS IN THE CONDITIONS OF THE ARCTIC NORTH

Works at height are referred to increased risk works. The traumatism connected with the performance of such works in construction makes up more than 25 % of all injuries. Works at height under the Arctic climate are connected with difficult climatic conditions. Therefore, all necessary security measures must be taken into account at the stage of the design and construction of buildings in order to ensure safety of works at height in the Arctic climate. The carried-out analysis has shown the impossibility of use of portable anchor devices on roofs, that is why it is necessary to provide and install stationary anchor devices at the stage of design and construction of roofs. The design of an anchor device is offered.

Key words: the Arctic North, work at height, safety, roof of a building, anchor device.

For citation:

Senchenko V. A., Pushenko S. L., Staseva E. V. [Concept of technical security measures when performing high-rise works on roofs of buildings in the conditions of the Arctic North]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 178—185.

About authors:

Senchenko Vladimir Aleksandrovich — Leading Expert in Labour Safety, Volgograd branch of PAO Rostelekom. 6, Gogolya St., Volgograd, 400131, Russian Federation, vladimir.senchenko@rambler.ru

Pushenko Sergei Leonardovich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, psl@rgsu.ru

Staseva Elena Vladimirovna — 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, elena_staseva@mail.ru

УДК 712.4:711.5(470.45)

В. Н. Анопин

Волгоградский государственный технический университет

ЛАНДШАФТНО-АРХИТЕКТУРНЫЙ ПОДХОД К ЗЕЛЕНОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ЗАСТРОЙКИ г. ВОЛГОГРАДА

Приведены основные положения эстетики зеленого строительства урболандшафтов. Рассмотрены особенности застройки территории г. Волгограда, представлены результаты анализа геоморфологического строения его территории и характера загрязнения поллютантами природной среды. Предложены мероприятия по преобразованию существующих и созданию новых зеленых насаждений, соответствующих требованиям современных разработок ландшафтной архитектуры.

К л ю ч е в ы е с л о в а: эстетика ландшафтов, пейзаж, жилая застройка, геоморфологическое строение, поллютанты, зеленое строительство, ландшафтная архитектура.

Особенности разработок ландшафтной архитектуры определяются материалами функционального зонирования территорий, обеспечивающего возможность как качественного благоустройства, так и высокого уровня эксплуатации озелененных площадей. Применяемые методы зеленого строительства в каждой конкретной функциональной зоне зависят от поставленной эстетической задачи, характера застройки, геоморфологического строения территории, плодородия, режима влажности и состояния почв, степени загрязнения природной среды поллютантами предприятий, транспорта и др.

Важным направлением разработки архитектурных основ зеленого строительства является решение вопросов эстетики ландшафта, изучающей привлекательность ландшафтов и проявляющейся в форме их чувственного восприятия. Хорошее состояние окружающих озелененных ландшафтов благотворно влияет на здоровье, самочувствие и психику человека.

Изучение особенностей чувственного восприятия ландшафта необходимо как при выполнении разработок в области ландшафтной архитектуры, так и при оценке природных потенциальных возможностей городской и пригородной территории [1].

В процессе восприятия ландшафта происходит его оценка как пейзажа. Вызывающие у человека положительные эмоции пейзажи являются эстетическими ресурсами территорий и акваторий. Эстетический потенциал местности (пейзажно-эстетический, эстетико-ресурсный) можно определить как степень ее потенциальной возможности удовлетворять эстетические потребности общества.

Один из ведущих исследователей эстетических особенностей ландшафта В. А. Николаев определяет эстетику ландшафта как направление ландшафтоведения, изучающее живописность (красоту) естественных и природно-антропогенных ландшафтов, а также особенности их эстетического восприятия. Он считает целесообразным философский подход к эстетической оценке ландшафта, рассматривая ландшафт в качестве сущностной характеристики, для осмысления которой нужен аналитический подход, а его эстетическую форму — пейзаж — как форму, выражающуюся чувственным восприятием [2].

Комплексный показатель эстетики созданного культурного озелененного ландшафта должен учитывать оценку как специалистов ландшафтной архитектуры, так и различных категорий населения.

Эстетико-рекреационный потенциал территории определяют: ландшафтное разнообразие ее строения, история формирования и развития общества, особенности восприятия природной среды проживающим населением, наличие благоприятных для жизнедеятельности, здоровья и отдыха человека свойств природных комплексов.

В наибольшей степени эстетический потенциал территории, обуславливающий возможность выполнения функции отдыха и оздоровления людей при использовании благоприятных условий окружающей среды и рационально созданной инфраструктуры, проявляется в преобразованном рекреационном ландшафте — культурном природно-антропогенном комплексе.

Степенью благоприятности природных условий рекреационного ландшафта является его комфортность, обеспечиваемая совокупностью медико-биологических, технических и социально-психологических свойств природной среды, удовлетворяющих потребности жизнедеятельности человека.

В настоящее время решение вопросов улучшения эстетики ландшафтов являются приоритетными при выполнении разработок по созданию и содержанию парков, скверов, садов, уличных посадок, зеленых насаждений лесопарков, мелиоративных комплексов и т. д. Это обусловило необходимость более широкого изучения факторов, определяющих потенциальную эстетику ландшафтов и возможности их психоэмоционального воздействия на человека.

Решение проблем эстетического направления ландшафтоведения осложняется отсутствием единой общепризнанной методики исследований ее феноменов. Для более полной оценки эстетики ландшафта и выявления показателей его комфортности следует использовать комплексные физико-географические и социально-географические методы [3]. Комфортность урбандиаффта определяется сочетанием его медико-биологических, технических и социально-психологических свойств, обеспечивающих необходимую благоприятность условий природной среды для горожан.

Эстетические свойства ландшафтов обуславливают особенности использования их территории. В связи с этим в процессе планирования следует учитывать дуализм ландшафтной эстетики: с одной стороны, привлекательность природных объектов, их гармоничность и системная организованность являются их объективными свойствами, с другой — сама категория красоты представляет форму восприятия человеком объекта, осмыслением и субъективной оценкой свойств природно-антропогенной среды [4]. Таким образом, эстетичность ландшафта является понятием сложным, не всегда однозначным.

Поскольку эстетическая привлекательность ландшафта находится в прямой зависимости от особенностей восприятия природных объектов различными категориями населения, неизбежен определенный субъективизм результатов оценки эстетических ресурсов местности. В связи с этим можно лишь с некоторой условностью оценивать степень потенциально возможной эстетичности ландшафта.

При выполнении оценки эстетики природного комплекса пейзажные эстетические исследования целесообразно разделять на камеральные и полевые. В процессе камеральных работ при проведении предварительных изысканий необходимо выявление территорий, которые по совокупной оценке геоморфологического строения, почв, грунтов, растительного покрова, гидрологических и гидрогеологических показателей могут обладать высокими пейзажными характеристиками. При проведении последующих натурных обследований характерных участков различных категорий территорий выявляют фактическую и потенциально возможную живописность ландшафта, обеспечивающую положительное эмоциональное воздействие на человека.

Эстетическая оценка ландшафта будет наиболее полной при дополнительном совместном использовании методов психологии, социологии и ландшафтного картографирования.

С учетом разработок Д. А. Дирина [3] Н. А. Иванова [4] предлагает применять следующие критерии при оценке потенциальной эстетической привлекательности ландшафтов: контрастность элементов ландшафта, цветовая гамма, глубина и разнообразие перспектив, присутствие лесонасаждений и акваторий, степень антропогенной трансформации природного комплекса, присутствие в этом комплексе символических объектов. По нашему мнению, к ним следует отнести также наличие объектов качественного зеленого строительства, соответствующих разработкам ландшафтной архитектуры.

Важнейшим фактором, определяющим метод ландшафтно-архитектурного планирования городского зеленого строительства, является характер застройки (архитектурные особенности, этажность домов, расстояния между ними, наличие общественных зданий, памятников, мемориалов и других сооружений, параметры тротуаров и проезжей части улиц и т. д.). В Волгограде с течением времени характер городского строительства существенно менялся. С некоторой долей условности, введя ряд уточнений, период интенсивной застройки территории города можно разделить на предлагаемые И. В. Черешневым и Н. В. Черешневой пять этапов [5].

На первом этапе (конец XIX века — начало Великой Отечественной войны) проводилась жилая застройка территории современного Центрального района г. Волгограда и рабочих поселков около образующихся вдоль побережья Волги промышленных зон. Кварталы центральной части города создавались прямоугольной формы и имели размер преимущественно 130×260 м, т. е. 3,4 га. Площади участков землевладений, застроенных зданиями, доходили до 45 %. Застройка территорий рабочих поселков была комплексной (одновременно со строительством промышленных предприятий застраивалась деревянными бараками прилегающая к ним территория). Практически отсутствовали элементы благоустройства и не было общественных зданий.

В 1920-х — 1930-х гг. имел место переход к созданию при крупных предприятиях комплексных жилых комбинатов (коммун) с одновременным проживанием в больших квартирах нескольких семей. Средняя этажность домов не превышала три этажа. К настоящему времени они сохранились преимущественно в виде групп из трех-четырёх зданий. Зеленое строительство в основном выполнялось стихийно, без научно обоснованных проектов.

Второй этап (1943—1955) отличался формированием нового планировочного градостроительного подхода. С 1948 по 1952 г. центр города интенсивно застраивался 4...7-этажными зданиями индивидуального проектирования с квартирами высокой комфортности («сталинками»). В остальных районах строились в основном двух- и трехэтажные дома, но также с достаточно комфортными квартирами. Создавалась необходимая инфраструктура. Значительные площади отводились под зеленые насаждения, газоны, цветники.

Третий этап (1955—1975) характеризовался индустриальным типовым строительством с широким применением сборного железобетона. Главное требование к проектированию — экономический эффект архитектурно-планировочных решений — обусловило резкое снижение комфортности жилья. Предполагалось, что ограниченное жилое пространство в квартирах пятиэтажных домов жильцы компенсируют наличием прилегающей к зданиям благоустроенной территории. С 1958 г. выполняется комплексная застройка территории города микрорайонами. С 1964 г. начинают строиться дома улучшенной серии с квартирами большей площади (но меньшей, чем на втором этапе). Широко применяется строчная застройка, при которой на проезжую часть улиц выходят торцы зданий.

Под зеленые насаждения и детские площадки отводились достаточные площади, но качество зеленого строительства в целом было весьма посредственным, зачастую без учета рельефа территории, почв, гидрогеологии и др.

Четвертый этап (1975—1990) отличался переходом от строительства типовых домов к типовым блокам — секциям. При этом микрорайон становился основным структурно-планировочным объектом городской застройки. Происходило снижение площадей, занятых транспортными магистралями, с размещением их исключительно по периметру застраиваемого участка. Выделялись территории для отдыха, детских игр, строительства дошкольных учреждений, школ и т. д. (микрорайоны Краснооктябрьского и Дзержинского районов, Спартановка, Тулака и др.). Резко возрос снос одноэтажных домов частных секторов, освободившиеся площади застраивались 9-, 12-, 14- и 16-этажными зданиями.

Имело место увеличение на неудобьях площадей бесхозных пустырей, социальная бесконтрольность, беспорядок (самовольная установка металлических гаражей и т. д.). Этап характеризовался некачественным уровнем зеленого строительства, так как значительная часть посадочных работ выполнялась на суббортниках с использованием саженцев имевшихся в наличии недостаточно декоративных древесных и кустарниковых пород. Обострились проблемы, связанные с поливом посадок. Уход за зелеными насаждениями осуществлялся практически без соблюдения требований ландшафтной архитектуры.

Пятый этап (с 1990 г. по настоящее время) характеризуется адаптацией качественных показателей строящегося жилья к желаниям заказчика. Строительство выполняется преимущественно по индивидуальным проектам, устраивающим покупателей квартир. Получают распространение многофункциональные жилые комплексы с развитой инфраструктурой. Многие жилые здания возводят переменной этажности, с большими террасами и благоустроенной отведенной территорией, в том числе под стоянки личных легковых

автомобилей жильцов. Начиная со второй половины 1990-х гг. строительство элитного жилья производится преимущественно внутри кварталов пятиэтажной застройки центральных районов города или в центрах периферийных микрорайонов (точечная застройка). Происходит внедрение в пространство между существующими строениями высотных зданий до 20...25 этажей [5]. В результате плотность населения возрастает до величин, превышающих нормативы. Резко увеличивается численность легковых автомобилей, становится нормой нехватка мест для их парковки, которая во дворах нередко осуществляется между растущими деревьями. Имеет место снижение общих площадей зеленых насаждений и ухудшение их состояния.

В последнее десятилетие параллельно с этим все большее распространение получает комплексная застройка территорий на окраинах города домами невысокой этажности с квартирами эконом-класса и выделением участков под детские площадки, детские сады, школы и т. д. Значительные площади отводятся под зеленые насаждения. Однако зеленое строительство ведется преимущественно по упрощенным схемам без применения приемов ландшафтной архитектуры, с недостаточным количеством цветников и газонов.

Другим исключительно значимым фактором, требующим обязательного учета при составлении научно обоснованного проекта зеленого строительства, является геоморфологическое строение застроенной и прилегающей к ней территории.

Как в экологическом, так и в композиционном отношении геоморфологическое строение территории является «каркасом» всякого ландшафтного объекта. От него зависит характер почвенного покрова почвообразующих и подстилающих пород, глубина расположения грунтовых вод и водный режим почвогрунтов, микроклимат, видовой состав и состояние естественной растительности. Рельеф местности определяет объемно-пространственную структуру всех категорий городских зеленых насаждений и лесопарков, положение видовых точек, бассейны видимости, устойчивость растительности к рекреационным нагрузкам [6].

Геоморфологическое строение территории Волгограда и его окрестностей достаточно сложное, его элементы характеризуются большим разнообразием. В пределах данной территории выделяются долинные, склоновые и водораздельные ландшафты.

Большая часть долины Волги представлена 20...40-метровой абразивно-аккумулятивной террасой, переходящей в южной части города в Бекетовскую низину и затем в Сарпинскую равнину. В северной части города значительная часть террасы размыта меандрирующим руслом Волги и практически не прослеживается. Южнее устья р. Царицы ширина долины составляет 0,1...0,2 км, затем постепенно возрастает до 2 км в районе Бекетовской низины, после чего переходит в обширную раннехвалынскую равнину [7]. В основании террасы имеют место многочисленные выходы грунтовых вод.

Протяженность склона Приволжской возвышенности в северной части города составляет в среднем около 10 км, в южной уменьшается до 1,0...1,5 км. На склоне расположены две надпойменные террасы со средними относительными высотами 10...15 и 50...60 м, выше которых наблюдаются локальные

структурные ступени. Поверхность абразивно-аккумулятивной террасы в основном сложена мечеткинскими отложениями. Со стороны Волги местами к ней примыкают участки с хвалынскими шоколадными глинами. Между малыми реками — Сухой и Мокрой Мечетками — имеются небольшие террасовидные ступени. В северной части города в мечеткинских песках выработана 50...60-метровая надпойменная терраса. К западу от нее расположены структурные локальные ступени с высотой 80...90 м, приуроченные к выходам устойчивых против денудации киевских мергелей и майкопских глин. Севернее балки Купоросной образовалась 10...15-метровая терраса. Южнее это структурное образование проявляется в районе балки Отрадной и представляет собой широкую заболоченную поверхность, ограниченную с запада высоким уступом Ергеней. На крайнем юге Волгограда оно представляет собой участок поймы Волги шириной 1,0...1,5 км [7].

Для более детальной характеристики геоморфологического строения урбанизированных территорий, необходимой для разработки эффективных научно обоснованных методов зеленого строительства на городских и пригородных землях, целесообразно ландшафтно-геоморфологическое районирование городских земель. По результатам картометрических работ и натурных обследований местности с учетом материалов исследований С. К. Горелова [7] нами выделено семь ландшафтно-геоморфологических участков (л. г. у.): Северный, Орловский, Городищенский, Ельшанский, Отрадинский (в ландшафтной полосе юга Приволжской возвышенности). Приканальный и Заканальный (в ландшафтной полосе Северных Ергеней).

Северный л. г. у. (от балки Котлованной до малой реки Сухой Мечетки) сложен ергеневскими царицынскими песками с маломощным покровом суглинков и слабо и среднесмытыми суглинистыми и глинистыми в разной степени солонцеватыми почвами. Территория отличается пологими формами рельефа. Средняя крутизна присетевых склонов составляет 2° , берегов балок — $5...11^\circ$. Вблизи устья реки Сухой Мечетки расположено значительное количество оврагов. Большая часть незастроенной территории занята садовыми участками и сельскохозяйственными землями.

Орловский л. г. у. включает поселки Орловский, Водстрой и прилегающую к ним территорию. Почвы участка преимущественно тяжелосуглинистые и глинистые в комплексе с солонцами на маломощных суглинках, подстилаемых ергенинскими песками на кровле царицынских песков. Территория представлена склонами крутизной $2,0...2,5^\circ$ в селитебной зоне и вблизи нее до $1,0...1,5^\circ$ в периферийной северной части. Земли участка расчленены балками Каменской, Песчанкой, Водяной, Казенной, глубиной до 20...25 м и крутизной берегов $4...12^\circ$. В южной его части значительные площади заняты искусственными массивными насаждениями робинии лжеакация и вяза приземистого, в северной расположены пахотные земли.

Городищенский л. г. у. представлен территорией с почвами и почвообразующими породами преимущественно легкого гранулометрического состава на легких суглинках, подстилаемых ергенинскими песками, расположенными, в свою очередь, на размытой кровле майкопских глин. Выходы их грунтовых вод являются истоками малых рек — Царицы и Мокрой Мечетки. Склоны

очень пологие, крутизной менее 2° . Большая часть незастроенной территории используется в сельскохозяйственном производстве, значительные площади заняты лесонасаждениями защитного и рекреационного назначения. Расчленяющие участок река Мокрая Мечетка и балки Бирючья, Казенная, Гнусина, Таловая характеризуются пологими берегами в средней и нижней частях и крутыми в вершинных ($12...15^\circ$).

Большая часть Ельшанского л. г. у. представлена склонами крутизной около 4° . Почвы участка светло-каштановые, местами солонцеватые, преимущественно легкого гранулометрического состава на маломощных суглинках и супесях, подстилаемых ергенинскими песками на приподнятой кровле майкопских глин. Незастроенные площади частично заняты садовыми участками. Имеется много пустырей с естественными зарослями кустарников, произрастают защитные лесные полосы. В южной части расположены лесные насаждения зеленого кольца. Расчленяющие поверхность участка балки Ельшанка, Купоросная, Найденова (Букатинская) и Горная Поляна (Григорова) направлены в восточном направлении, имеют глубину до $20...22$ м и крутые склоны.

Отрадинский л. г. у., включающий Кировский административный район Волгограда и прилегающую к нему территорию, сложен ергенинскими песками и скифскими глинами, залегающими на размытой кровле майкопских глин. Почвы преимущественно светло-каштановые, сильно и среднесмытые в комплексе с солонцами. Прилегающая к городской застройке полоса шириной $400...500$ м имеет крутизну около 6° и заканчивается в южной части склоном балки Отрада, на котором расположен большой массив садовых участков. Между балками Отрада и Капустной земли мелиорированы большим количеством массивных и полосных лесных насаждений.

Приканальный л. г. у. занимает широкую, местами заболоченную террасу, переходящую в верхней части в склоны крутизной до 3° . Почвы светло-каштановые, тяжелого гранулометрического состава в комплексе с солонцами. На наиболее крутых склонах они сильно и среднесмытые. Подстилающие породы — скифские глины, местами ергенинские пески, покрывающие майкопские глины. Вблизи Волго-Донского судоходного канала на территории, расчлененной такими балками, как Кучерла, Бирючья и Чапурниковская, произрастают естественные реликтовые леса, много массивных и полосных искусственных лесонасаждений, в том числе зеленого кольца.

Заканальный л. г. у., расположенный на широкой волжской террасе и острове Коряжном, отличается отсутствием балок. Его территория является частью плоской морской низменной равнины, сложенной хвалынскими шоколадными глинами. Почвы светло-каштановые, разной степени солонцеватости в комплексе с солонцами и солончаками. Вблизи нефтеперерабатывающего завода имеются искусственные лесные массивы и садовые участки. Большая часть незастроенной территории занята пустырями с рединами зеленых насаждений.

Таким образом, различные ландшафтно-геоморфологические участки территории Волгограда и его окрестностей отличаются строением рельефа, инженерно-геологическими, гидрогеологическими, почвенными и микроклиматическими условиями. Качественное ландшафтно-архитектурное зеленое строительство возможно только на основе дифференциального подхода к раз-

работке технологий с учетом всего комплекса почвенно-геоморфологических условий на базе совершенных научно обоснованных агротехнических приемов, применения устойчивых к неблагоприятным факторам внешней среды древесных и кустарниковых растений и методов ландшафтной архитектуры.

Следующим наиболее значимым фактором, учет которого при выполнении зеленого строительства в крупных промышленных центрах должен быть обязательным, является загрязнение природной среды [8—10]. Несмотря на жесткие требования к выполнению мероприятий по его снижению, загрязнение атмосферного воздуха Волгоградской агломерации остается высоким.

В силу ряда обстоятельств некоторые предприятия не смогли в течение последнего времени достаточно снизить выбросы поллютантов в атмосферу, и в 2016 г. для предотвращения падения экономических показателей региона Комитет природных ресурсов и экологии Волгоградской области был вынужден выдать 300 разрешений на выбросы поллютантов. В результате масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу региона от стационарных источников возросла до 161,4 тыс. т [11], что на 1,5 тыс. т больше, чем в 2015 г. (табл. 1).

Таблица 1

Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Волгоградской области, тыс. т

Виды выбросов	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Всего	178,2	170,8	172,5	153,5	159,9	161,4
в том числе:						
твердые	13,4	13,1	12,2	9,95	10,0	8,9
газообразные и жидкие, из них	164,8	157,7	160,3	143,6	149,9	152,5
диоксид серы	6,8	7,7	9,1	7,2	7,6	12,1
оксид углерода	75,4	74,0	72,3	56,7	60,8	54,5
оксиды азота	26,2	26,5	26,0	25,4	27,3	26,2
углеводороды (без ЛОС)	28,0	21,9	25,5	28,6	28,1	39,0
ЛОС	24,6	24,2	23,9	22,5	23,1	17,4
прочие газообразные и жидкие	3,8	3,4	3,5	3,1	3,2	3,2

Большая часть выбросов приходится на Волгоградскую агломерацию (в Волгограде 35,5 тыс. т, в Волжском 54,3 тыс. т), хотя в 2016 г. значительная часть образовавшихся загрязняющих веществ была обезврежена (табл. 2).

Затраты на мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ (в Волгограде 64,3 тыс. т, Волжском 15,4 тыс. т) составили 130,8 млн руб.

Еще больший «вклад» в загрязнение атмосферного воздуха вносит автомобильный транспорт (табл. 3).

Основную часть поллютантов составила окись углерода: в Волгограде 52,2 тыс. т, в Волжском 12,3 тыс. т (81,2 % и 80,0 % соответственно). В то же время весьма значительно ухудшают состояние биоты окислы азота, серы и ЛОС.

Т а б л и ц а 2

*Выброс и очистка загрязняющих атмосферу веществ
стационарными источниками в 2016 г.*

Виды выбросов	г. Волгоград		г. Волжский	
	Выброшено, тыс. т	Уловлено от общего количества, %	Выброшено, тыс. т	Уловлено от общего количества, %
Всего	35,5	65,6	54,3	23,9
в том числе:				
твердых веществ	2,5	95,9	1,5	91,1
жидких и газообразных веществ, из них:	33,0	22,7	52,8	3,5
диоксид серы	3,1	9,4	7,7	0,4
оксид углерода	6,9	13,4	*	0,0
оксиды азота	10,0	9,3	6,3	0,2
Углеводороды (без ЛОС)	5,1	26,5	*	—
ЛОС	7,4	34,7	4,3	30,2
прочие	0,5	75,0	0,2	2,6

Примечание: * — показатели в докладе отсутствуют для обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных.

Т а б л и ц а 3

Выбросы загрязняющих веществ автотранспортом в 2016 г., тыс. т

Город	SO ₂	NO _x	ЛОС	CO	C	NH ₄	CH ₄	Всего
Волгоград	0,3	4,9	6,4	52,2	0,1	0,1	0,3	64,3
Волжский	0,07	1,3	1,7	12,3	0,02	0,04	0,1	15,4

По данным отдела здравоохранения, наибольший ущерб здоровью населения Волгограда и Волжского наносят: пыль, окислы азота, формальдегид, фенол, хлористый водород, фтористый водород, сероводород, оксид азота. Их присутствие в атмосферном воздухе вызывает снижение иммунитета, оказывает раздражающее действие на органы дыхания, способствует росту заболеваемости населения хроническими бронхитами, фарингитами, бронхиальной астмой, ринитом и повторными ОРВИ [11]. Они же и в наибольшей степени ухудшают и состояние зеленых насаждений, что следует учитывать при подборе ассортимента устойчивых к поллютантам древесных пород.

Основными причинами загрязнения воздуха являются:

высокая интенсивность движения транспортных средств при неудовлетворительном состоянии значительной части городских дорог;

недостаточная протяженность объездных дорог, в первую очередь Третьей продольной магистрали;

использование многими водителями низкокачественных нефтепродуктов (обусловлено постоянным ростом цен на бензин и дизельное топливо);

использование промышленными предприятиями некачественного сырья;

значительный износ технологического и очистного оборудования;
нарушение технологических процессов [11].

Полный комплексный учет всего вышеизложенного при выполнении зеленого строительства возможен только на основе ландшафтного анализа территории, предусматривающего изучение целостности объекта. Кроме того, для качественного озеленения территорий определяющими должны стать не только высокая степень благоустройства, но и потенциально высокий уровень всех направлений возможного целенаправленного преобразования с использованием мощной рекультивационной и озеленительной техники, обеспечивающей снижение затрат на создание современных инженерных ландшафтов [6].

Конечной целью проектируемых мероприятий должна стать стабилизация и улучшение структурно-функциональных свойств создаваемого культурного ландшафта (иерархии организации его подсистем), адаптация направлений и методов использования территории зеленого строительства к этим свойствам и, как результат, обеспечение максимального приближения компонентов преобразованных урбандизмов к динамическому равновесию, характерному для древесных и кустарниковых насаждений, имеющих хорошее состояние.

При проектировании и производстве качественного, отвечающего современным требованиям зеленого строительства не менее важно выполнение задач архитектурного подхода. В целом, в настоящее время наблюдается всплеск интереса как проектировщиков, так и активных горожан, не равнодушных к состоянию своего места жительства, к новым нестандартным архитектурно-дизайнерским решениям в области зеленого строительства. Особый интерес представляет анализ взаимодействия разнообразных функций зеленых насаждений, обеспечивающий возможность выявления оптимальных приемов гармоничного сочетания природных и техногенных компонентов в едином ландшафтно-рекреационном комплексе [1].

Однако следует констатировать, что в зеленом строительстве Волгограда решению вопросов ландшафтной архитектуры уделяется крайне мало внимания. Произрастающие в городе зеленые насаждения в основном состоят из разновозрастных и зачастую недостаточно декоративных древесных и кустарниковых пород. Особенно это характерно для уличных, придомовых и дворовых посадок, но нередко наблюдается и в парках, скверах и садах, где обычно отсутствуют деревья-солитеры, визуально соподчиненные насаждения и другие атрибуты ландшафтной архитектуры.

Искусственно созданные лесопарки (на прилегающих к плотине Волжской ГЭС левом и правом берегах Волги, около начала Волго-Донского судоходного канала и др.) практически являются просто пригородными лесами, имеющими невысокий (III—V) бонитет и значительную (30...45 %) суховершинность [1]. В них полностью отсутствуют необходимые для рекреантов элементы благоустройства: асфальтобетонные дороги и щебеночно-набивные тропинки, деревянные мостики, навесы от дождя, скамейки, малые архитектурные формы, должным образом оборудованные видовые точки и т. д.

Необходима постепенная реконструкция большей части зеленых насаждений Волгограда. При этом архитектурный подход к реконструкции и новому зеленому строительству должен обеспечивать формирование единого

ансамбля зеленых насаждений с отличающимися своеобразной архитектурой крупными зданиями, мемориалами и другими объектами городского строительства. Архитектурный образ ландшафтного объекта должен определяться ведущими компонентами ансамбля — главными и сопутствующими центрами и композиционными осями. Нужно чтобы каждый участок объекта входил в определенный ансамбль, каждое архитектурное решение принималось исходя из общей композиции. Целесообразно, чтобы центром композиции был главный строительный объект (здание, монумент, памятник или мемориал). Сопутствующие по масштабности и оформлению элементы композиции, уступая ее центру, должны выполнять функции соподчиненных. На крупном объекте необходимо создавать несколько дополнительных композиционных центров. Используемые в архитектурном решении ландшафтного комплекса композиционные оси (также главные и дополнительные) должны выполнять функции основы архитектуры объекта зеленого строительства, логически связывая отдельные участки его территории [6].

Выводы:

1. Выполнение зеленого строительства должно проводиться с учетом положений эстетики ландшафта. В неблагоприятных для древесной растительности условиях Волгограда это возможно только при проведении систематического полива зеленых насаждений.
2. Жилая застройка Волгограда, выполненная в разные периоды времени, существенно различается как по расположению и параметрам зданий, так и по площадям зеленых насаждений.
3. Территория Волгограда характеризуется сложным геоморфологическим строением, обуславливающим необходимость различных подходов к проектированию и выполнению работ зеленого строительства.
4. Несмотря на ряд выполненных мероприятий по охране природной среды, выбросы загрязнителей в атмосферу города остаются высокими, что требует применения в озеленительных работах устойчивых к вышеназванным загрязнителям, но достаточно декоративных древесных и кустарниковых пород.
5. Большая часть зеленых насаждений Волгограда не соответствует современным требованиям ландшафтной архитектуры и нуждается в постепенной реконструкции, обеспечивающей создание определенных архитектурных ансамблей с различными градостроительными объектами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анопин В. Н., Матовникова Н. Г., Матовников С. А. Архитектурно-планировочные и адаптивно-ландшафтные основы зеленого строительства на территории Волгоградской агломерации. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. 159 с.
2. Николаев В. А. Ландшафтоведение: эстетика и дизайн. М.: Аспект Пресс, 2005. 176 с.
3. Дирин Д. А. Подходы к оценке эстетических ресурсов горных ландшафтов // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 67—75.
4. Иванова Н. А. Методические подходы к оценке эстетической привлекательности ландшафта // Антропогенная трансформация геопространства. История и современность. Волгоград: ВолГУ, 2017. С. 15—21.
5. Черешнев И. В., Черешнева Н. В. Этапы развития жилого фонда г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 259—268.

6. Озеленение населенных мест: справ. / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Волфтруб и др. М.: Стройиздат, 1987. 480 с.
7. Горелов С. К. Геоморфология и новейшая тектоника правобережья Нижней Волги // Тр. ин-та геогр. АН СССР. 1957. Т. 73. Вып. 19. 138 с.
8. Анопин В. Н. Географические основы лесной рекультивации деградированных урбо-ландшафтов Нижнего Поволжья. Волгоград: ВолгГАСУ, 2005. 170 с.
9. Матовников С. А., Анопин В. Н., Матовникова Н. Г. Ландшафтно-архитектурные методы в зеленом строительстве Волгоградской агломерации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 248—257.
10. Анопин В. Н. Ландшафтно-архитектурный подход к планированию зеленого строительства в урбо-ландшафтах аридной зоны // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 47(66). С. 328—338.
11. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2016 году: докл. Ижевск: Принт-2, 2017. 200 с.

© Анопин В. Н., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Анопин В. Н. Ландшафтно-архитектурный подход к зеленому строительству на территориях с различными типами застройки г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 186—197.

Об авторах:

Анопин Владимир Николаевич — д-р географ. наук, профессор, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AnopinVI.Nik.48@yandex.ru

V. N. Anopin

LANDSCAPE AND ARCHITECTURAL APPROACH TO GREEN CONSTRUCTION ON THE TERRITORY WITH VARIOUS TYPES OF DEVELOPMENT IN VOLGOGRAD

The main principles of the aesthetics of green construction of urban landscapes are given. The peculiarities of the development on the territory in Volgograd are considered and the results of the analysis of the geomorphological structure of its territory and the nature of pollution by environmental pollutants are presented. Measures to transform the existing and create new green plantations, which meet the requirements of modern developments of landscape architecture, are proposed.

Key words: aesthetics of landscapes, landscape, residential development, geomorphologic structure, pollutants, green construction, landscape architecture.

For citation:

Anopin V. N. [Landscape and architectural approach to green construction on the territory with various types of development 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], 2018, iss. 51(70), pp. 186—197.

About authors:

Anopin Vladimir Nikolaevich — Doctor of Geographic Sciences, Professor, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AnopinVI.Nik.48@yandex.ru

УДК 711.142

В. Г. Поляков, С. А. Чебанова, Е. А. Дубовская

Волгоградский государственный технический университет

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАСТРОЙЩИКА ИНФОРМАЦИЕЙ
О ЗОНАХ С ОСОБЫМИ УСЛОВИЯМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ
ПРИ ВЫБОРЕ УЧАСТКА ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО**

Раскрывается сущность понятия зон с особыми условиями использования территорий, рассматривается последовательность их учета. Отображается проблема недоступности полной информации о расположении зон с особыми условиями использования территорий в г. Волгограде и связанных с ними ограничениях. Даются рекомендации по расширению функций публичных кадастровых карт и системы Росреестра.

Ключевые слова: зоны с особыми условиями использования территорий (ЗООИТ), учет ЗООИТ, публичная кадастровая карта, Росреестр, территория для строительства, границы ЗООИТ, ограничения землепользования.

В соответствии со ст. 1 Гражданского кодекса РФ к зонам с особыми условиями использования территорий (ЗООИТ) относятся: охранные, санитарно-защитные зоны (СЗЗ), зоны охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации (далее — объекты культурного наследия), защитные зоны объектов культурного наследия, водоохраные зоны, зоны затопления, подтопления, зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, зоны охраняемых объектов, приаэродромная территория, иные зоны, устанавливаемые в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (п. 3 ст. 52), зоны с особыми условиями использования территорий установлены в соответствии с федеральным законодательством и образуются в целях обеспечения: безопасности населения и создания необходимых условий для эксплуатации объектов промышленности, энергетики, радиационно опасных и ядерно-опасных объектов, пунктов хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, транспортных и иных объектов; условий охраны памятников природы, истории и культуры, археологических объектов, устойчивого функционирования естественных экологических систем, защиты природных комплексов, природных ландшафтов и особо охраняемых природных территорий, водных объектов от загрязнения и другого негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности.

Земельные участки, которые включены в состав таких зон, у правообладателей земельных участков обычно не изымаются, но в их границах может быть введен особый режим их использования, ограничивающий или запрещающий те виды деятельности, которые несовместимы с целями установления зон. Как отмечается в Земельном кодексе РФ от 25.10.2001 г. № 136-ФЗ (ред. от 20.03.2011 г.), ЗООИТ устанавливаются на землях, прилегающих к объектам, в отношении которых установлены такие зоны (объект, в отношении которого установлена зона, в состав зоны не входит).

Перечень зон с особыми условиями использования территорий для г. Волгограда включает: санитарно-защитные зоны (СЗЗ) предприятий, сооружений и иных объектов¹; СЗЗ и зоны наблюдений радиационных объектов²; зоны охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации³; зоны охраняемых объектов⁴; зоны объектов электросетевого хозяйства⁵; зоны объектов по производству электрической энергии (опоры ЛЭП)⁶; зоны объектов системы газоснабжения⁷; зоны сетей связи и сооружений связи⁸; зоны магистральных трубопроводов (вдоль всей трассы)⁹; зоны геодезических пунктов¹⁰; зоны стационарных пунктов наблюдений за состоянием окружающей природной среды, ее загрязнением¹¹; зоны железных дорог¹²; зоны автодорог (актуально для г. Волгограда, так как через весь город, в том числе Центральный район, проложены железная дорога и продольные автомагистрали); зоны особо охраняемых природных территорий¹³; водоохранные зоны¹⁴;

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 „Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов“» от 25.09.2007 г. № 74 (ред. от 09.09.2010 г.).

² Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «Об утверждении Санитарных правил СП 2.6.1.2216-07 „Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ“» от 29.05.2007 г. № 30.

³ Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ (ред. от 30.11.2010 г., с изм. от 13.12.2010 г.).

⁴ Постановление Правительства РФ от 20.06.2006 № 384 (ред. от 15.06.2009) «Об утверждении Правил определения границ зон охраняемых объектов и согласования градостроительных регламентов для таких зон»

⁵ Постановление Правительства Российской Федерации «О порядке установления охранных зон объектов по производству электрической энергии и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон» от 18.11.2013 г. № 1033.

⁶ Там же.

⁷ Федеральный закон «О газоснабжении в Российской Федерации» от 31.03.1999 г. № 69-ФЗ (ред. от 30.12.2008 г.).

Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил охраны газораспределительных сетей» от 20.11.2000 г. № 878.

⁸ Федеральный закон «О связи» от 07.07.2003 г. № 126-ФЗ (ред. от 07.02.2011 г.).

Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил охраны линий и сооружений связи Российской Федерации» от 09.06.1995 г. № 578.

⁹ Правила охраны магистральных трубопроводов (утв. Минтопэнерго РФ 29.04.1992 г. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 22.04.1992 г. № 9 (с изм. от 23.11.1994 г.)).

¹⁰ Постановление Правительства РФ «Об утверждении Положения об охранных зонах и охране геодезических пунктов на территории Российской Федерации» от 07.10.1996 г. № 1170.

¹¹ Постановление Правительства РФ «Об утверждении Положения о создании охранных зон стационарных пунктов наблюдений за состоянием окружающей природной среды, ее загрязнением» от 27.08.1999 г. № 972 (ред. от 01.02.2005 г.).

¹² Постановление Правительства РФ «О порядке установления и использования полос отвода и охранных зон железных дорог» от 12.10.2006 г. № 611 (ред. от 15.06.2009 г.).

¹³ Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 г. № 33-ФЗ (ред. от 27.12.2009 г.).

¹⁴ Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ (ред. от 28.12.2013 г.). Ст. 65.

зоны затопления, подтопления¹⁵; рыбоохранные зоны и рыбохозяйственные заповедные зоны¹⁶; округа и зоны санитарной охраны водных объектов, используемых для питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения и в лечебных целях¹⁷ (для г. Волгограда это, например, минеральная вода «Горная поляна»).

Перечень ЗОУИТ, указанный выше в определении, не является исчерпывающим, в отдельных законах и подзаконных актах имеются специальные указания на отнесение к зонам с особыми условиями использования следующих зон:

1. Лесопарковые зоны, зеленые зоны¹⁸, в том числе городские леса.
2. Береговая полоса внутренних водных путей Российской Федерации¹⁹ вдоль р. Волги.
3. Приаэродромная территория²⁰.

Границы ЗОУИТ обозначаются на местности специальными информационными знаками (размер зон либо нормативно определен, либо разрабатывается в проекте). Уничтожение или повреждение специальных знаков влечет, согласно Кодексу РФ об административных нарушениях, наложение административного штрафа на виновных в этом.

В государственный кадастр недвижимости (рис. 1) вносятся следующие сведения о ЗОУИТ:

- 1) индивидуальные обозначения (вид, тип, номер, индекс и т. п.) таких зон;
- 2) описание местоположения границ таких зон;
- 3) наименования органов государственной власти или органов местного самоуправления, принявших решения об установлении таких зон;
- 4) реквизиты решений органов государственной власти или органов местного самоуправления об установлении или изменении таких зон и источники официального опубликования этих решений;
- 5) содержание ограничений использования объектов недвижимости в пределах таких зон.

Границы ЗОУИТ воспроизводятся на кадастровых картах всех видов²¹. Зоны с особыми условиями использования территорий (или их части) могут быть объектами землеустройства), сведения о таких зонах вносятся в госу-

¹⁵ Там же, ст. 67.1.

¹⁶ Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ (ред. от 28.12.2010 г.).

¹⁷ Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ (ред. от 28.09.2010 г.).

¹⁸ Постановления Правительства РФ «Об утверждении положения об определении функциональных зон в лесопарковых зонах, площади и границ лесопарковых зон, зеленых зон» от 14.12.2009 г. № 1007 (в ред. Постановления Правительства РФ от 04.02.2011 г. № 50).

¹⁹ Постановление Правительства РФ «Об утверждении положения об особых условиях пользования береговой полосой внутренних водных путей Российской Федерации» от 06.02.2003 г. № 71.

²⁰ Постановление Правительства РФ «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации» от 11.03.2010 г. № 138.

²¹ Федеральный закон «О государственном кадастре недвижимости» от 24.07.2007 г. № 221-ФЗ (ред. от 27.12.2009 г.).

Приказ Минэкономразвития РФ «Об установлении перечня видов и состава сведений кадастровых карт» от 19.10.2009 г. № 416.

дарственный лесной реестр²², государственный водный реестр²³. Системно и последовательно зоны с особыми условиями использования территорий отображаются в материалах градостроительной деятельности: на картах, содержащихся в схемах территориального планирования и генеральных планах; на картах градостроительного зонирования и в составе градостроительных регламентов в правилах землепользования и застройки; в материалах по обоснованию проекта планировки территории и на чертежах межевания территории (согласно ГК РФ, ст. 1).

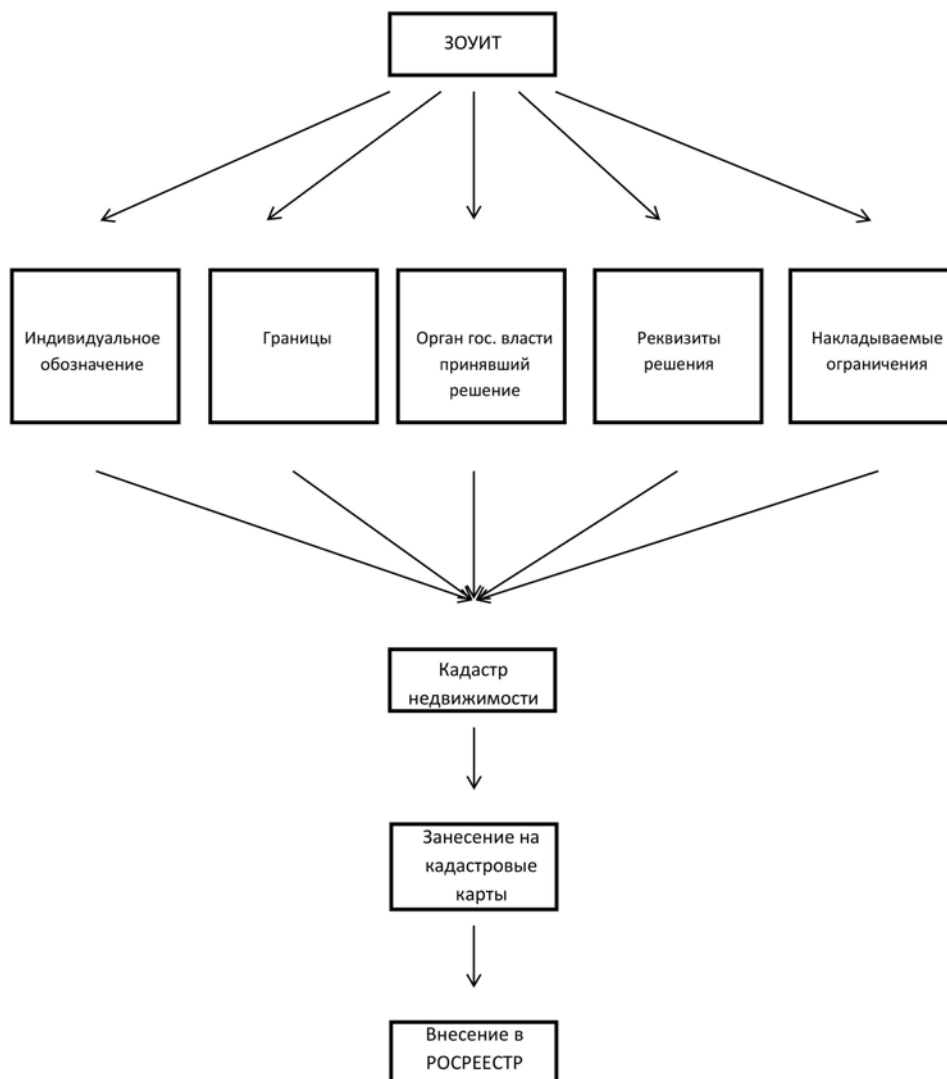


Рис. 1. Блок-схема учета ЗОУИТ

²² Постановление Правительства РФ «О государственном лесном реестре» (вместе с «Положением о ведении государственного лесного реестра») от 24.05.2007 г. № 318.

²³ Постановление «О порядке ведения государственного водного реестра» от 28 апреля 2007 г. № 253.

При выборе территории под застройку каждому застройщику необходимо быть уверенным, что проектируемый объект не будет находиться в зоне с особыми условиями использования территорий или в непосредственной близости от нее [1, 2], так как это может привести к невозможности строительства или к множеству ограничений к процессу строительства, а впоследствии к удорожанию проекта.

О необходимости осведомленности о расположениях ЗОУИТ свидетельствует и экологический аспект строительства. Вблизи охраняемых природных территорий действуют строгие требования касательно экологичности процесса строительства. Проблема заключается в сложности доступа к информации о таких зонах.

Как было сказано ранее, границы данных зон должны быть внесены на публичную кадастровую карту и на территориальную карту города. Территориальной карты города в большинстве случаев нет в открытом доступе. На публичной кадастровой карте (рис. 2) отображены номера земельных участков, и нам можно лишь догадываться, какой из них может входить в ЗОУИТ и какие ограничения на него накладываются. Способ найти такие зоны — просто просматривать информацию путем нажатия на земельный участок.

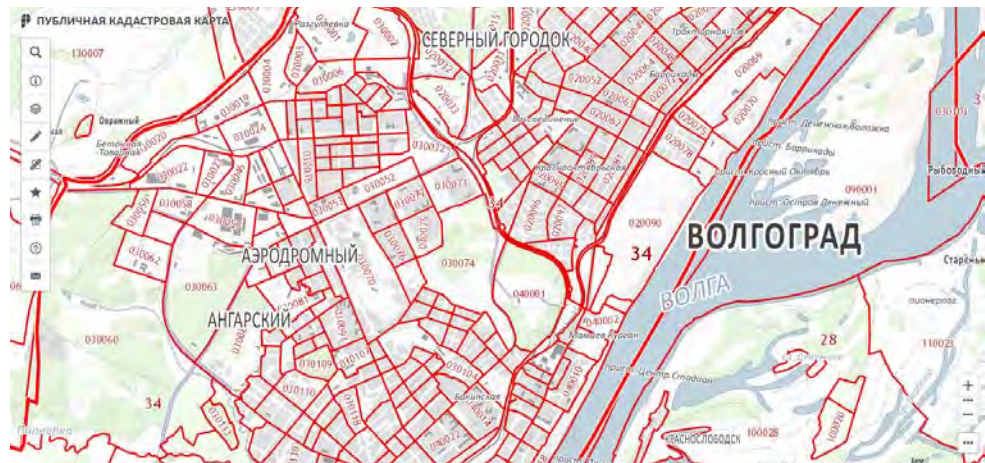


Рис. 2. Фрагмент публичной кадастровой карты г. Волгограда

Сразу определить, для какой зоны существуют те или иные ограничения, невозможно. Эту проблему не решает и Росреестр. Данные об участке можно узнать лишь при вводе в поисковую строку его кадастрового номера.

Анализируя все вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что для информационного обеспечения всех заинтересованных лиц при выборе участка под строительство, необходим быстрый и простой способ определения ЗОУИТ. Для этого предлагаем на публичной кадастровой карте присвоить границам ЗОУИТ индивидуальный цвет, а ограничения по использованию данных территорий отображать в листе информации (при нажатии на такую зону).

Для города с плотной застройкой и дорожной инфраструктурой, поясом городских лесов и т. д. в поисковой системе Росреестра рекомендуем добавить фильтры, разделяющие территории по видам.

Также необходимо добавить в открытое использование городские и областные территориальные карты, так как сведения о нововнесенных ЗОУИТ или расширение данных зон отображается на них ранее, чем на публичных кадастровых картах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чебанова С. А., Воробьев В. И. Выявление и организация опасных с точки зрения эколого-градостроительных требований зон от дымовых выбросов тепловых энергетических предприятий // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. № 32(51). С. 234—238.

2. Воробьев В. И., Чебанова С. А. Учет загрязнения атмосферного воздуха тепловыми энергетическими предприятиями при выборе участков под застройку // Научный потенциал молодых ученых для инновационного развития строительного комплекса Нижнего Поволжья: материалы междунаро-д. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. 2011. С. 35—39.

© Поляков В. Г., Чебанова С. А., Дубовская Е. А., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Поляков В. Г., Чебанова С. А., Дубовская Е. А. Обеспечение застройщика информацией о зонах с особыми условиями использования территорий при выборе участка под строительство // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 198—204.

Об авторах:

Поляков Владимир Геннадьевич — д-р экон. наук, профессор, декан факультета строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, polana@mail.ru

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

Дубовская Екатерина Андреевна — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, appel@mail.ru

V. G. Polyakov, S. A. Chebanova, E. A. Dubovskaya

PROVIDING OF INFORMATION TO A DEVELOPER ABOUT THE AREAS WITH PARTICULAR CONDITIONS OF USE OF TERRITORIES IN CASE OF CHOOSING A CONSTRUCTION SITE

The authors articulate the concept of areas with particular conditions of use of territories and consider the sequence of their registration. The problem of unavailability of the entire information about the location of areas with particular conditions of use of territories in Volgograd and their related limits is reflected. Recommendations on the expansion of the functions of the public cadastral maps and the Russian registry system are given.

Key words: areas with particular conditions of use of territories, registration of areas with particular conditions of use of territories, public cadastral map, the Russian registry system, territories for construction, boundaries of areas with particular conditions of use of territories, land use limits.

For citation:

Polyakov V. G., Chebanova S. A., Dubovskaya E. A. [Providing of information to a developer about the areas with particular conditions of use of territories in case of choosing a construction site]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 198—204.

About authors:

Polyakov Vladimir Gennad'evich — Doctor of Economics, Professor, Dean of the Faculty of Civil Engineering and Municipal Services, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, polana@mail.ru

Chebanova Svetlana Aleksandrovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sveta_nes@mail.ru

Dubovskaya Ekaterina Andreevna — Master's Degree student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, appel@mail.ru

УДК 502:69:721(1-21)

В. Г. Поляков, С. А. Чебанова, В. С. Ступницкий

Волгоградский государственный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ В СТЕСНЕННЫХ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты анализа основных экологических проблем, возникающих при строительстве зданий в условиях сложившейся застройки городов. Даны рекомендации по повышению экологической безопасности строительства в подобных условиях.

Ключевые слова: строительство, экологическая безопасность, экологические проблемы, стесненные городские условия.

Развитие человеческой цивилизации на протяжении всей истории сопровождается усилением воздействия на окружающую среду. Прогресс связан с появлением и применением на практике новых приборов, материалов, техники, оборудования и пр., при этом каждое нововведение оказывает определенное воздействие на природную среду. С одной стороны, оно является целенаправленным изменением свойств природы в каком-либо желаемом ключе, приспособлением ее для нужд человека, для более эффективного удовлетворения его потребностей. С другой стороны, воздействие производственной деятельности на окружающую среду разрушает ее, вызывает в ней нежелательные и опасные для человека последствия. Нововведения не обошли стороной и строительство. В результате роста механизации при производстве работ увеличилось влияние антропогенных факторов на природу. При строительстве зданий и сооружений наблюдается повышенный уровень загрязнения воздуха, воды и почвы, а также возникают факторы, влияющие непосредственно на самого человека [1].

Одним из основных источников загрязнения воздушной среды являются выбросы автотранспорта и других механизмов, работающих в зоне строительства и на рабочих местах. В подавляющем большинстве случаев строительные механизмы работают на дизельном топливе, что способствует выделению диоксидов углерода и серы. Также запыленность воздуха значительно увеличивается вследствие вырубки зеленых насаждений при разработке грунта. Загрязнению воздуха способствует складирование, использование химически агрессивных сыпучих материалов, сжигание строительного мусора и др.¹

Грунтовая среда подвергается негативному воздействию при земляных работах, устройстве грунтовых и свайных оснований, производстве взрывных работ, вследствие чего проявляется нарушение естественного состояния, эрозия, загрязнение почвы².

При устройстве водоотводов и дренажей, применении химических добавок в различных строительных растворах и составах возможно загрязнение подземных и поверхностных вод. Также влияние оказывает искусственное

¹ ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.

² СНиП 11-01-95. Охрана окружающей среды. М., 2000.

понижение уровня грунтовых вод. Уход за транспортными средствами требует большого расхода воды и сопровождается образованием сточных вод. Сточные воды станций техобслуживания содержат суспензии твердых веществ, эмульсии масел, а также растворы солей и моющих средств, попадание которых в природные водоемы или в почву приводит к их загрязнению³.

Негативное влияние при производстве строительных работ затрагивает и социальную среду. Как отмечается в Пособии к СНиП 11-01-95⁴ и в другой специальной литературе [2—10], в этом случае имеют место такие факторы, как вибрация, шум, электромагнитное излучение, пыль и, как следствие, рост заболеваний городского населения. Влияние всех перечисленных выше факторов негативного воздействия на уровень экологической безопасности должно быть устранено или снижено до допустимого значения. Необходимо разработать или использовать уже существующие мероприятия по улучшению экологии на строительной площадке и близлежащей территории.

Рекомендации по повышению экологической безопасности при производстве строительных работ даны для гостиницы, которая строится в центре г. Волгограда. Строительная площадка находится на Предмостной площади, на склоне оврага поймы р. Царицы. Строительство осуществляется в стесненных условиях городской застройки: в непосредственной близости расположены исторические жилые массивы, объекты общего пользования, административного управления и проходит главная улица — проспект им. В. И. Ленина, которая в то же время является первой продольной магистралью-линейного мегаполиса (рис. 1).



Рис. 1. Вид на строительный объект со стороны проспекта им. В. И. Ленина

³ СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., 1985.

⁴ Пособие к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации «Охрана окружающей среды». М., 2000.

При строительстве зданий в стесненных условиях уровень воздействия на окружающую среду увеличивается в разы [9]. К примеру, вредные выбросы в атмосферу не успевают рассеяться и в большой концентрации попадают в дыхательные пути городских жителей; увеличивается вероятность попадания загрязненных вод в водопроводную систему; грязь со строительной площадки оседает на колесах различной техники и разносится по близлежащим улицам и дворам.

Следует уделить внимание таким факторам, как вибрация, шум, электромагнитное излучение, пыль [6—8], влияющим на экологическую безопасность жителей близлежащих домов⁵. С первого дня строительства гостиницы городские жители недовольны постоянным шумом. Соответственно, при таком строительстве внимание на экологию должно быть значительно выше.

Вывод: для того чтобы уменьшить рост протестов против строительства, уровень экологической безопасности в районе строительной площадки должен быть на высоком уровне.

В первую очередь территорию строительной площадки рекомендуется закрыть увеличенными по высоте инвентарными ограждениями с устройством защитных козырьков. Ограждающая конструкция должна быть надежной и состоять из материалов, соответствующих нормативным требованиям и сертификатами соответствия качества. В ней не должно быть потенциально травмоопасных деталей (острых углов, зацепов и т. д.).

В целях предотвращения выноса грунта и грязи, в том числе остатков бетонной смеси или раствора, колесами автотранспорта на городскую территорию, на строительной площадке необходимо оборудовать пункт мойки (очистки) колес, с контролем его использования. При мойке не допускается использование химических веществ [2, 5]. Водоснабжение желательно выполнять по замкнутой схеме, с очисткой и вторичным использованием воды. Для снижения уровня строительной пыли на строительной площадке необходимо организовывать аэрозольные увлажнители.

На территории строительной площадки должны быть проложены автомобильные дороги⁶. Для сокращения расходов в период строительства на стройплощадке целесообразно использовать постоянные дороги без укладки полного покрытия. В этом случае можно уложить по земляному полотну лишь нижние слои и использовать их в период строительных перевозок как дорожное покрытие или, что еще эффективнее, уложить по основанию временное покрытие из железобетонных дорожных плит.

Основным источником загрязнения на стройплощадке являются строительные машины и механизмы (рис. 2 и 3). При эксплуатации транспортных средств выделяются газообразные (оксиды серы, азота, угарный газ, различные углеводороды, продукты неполного сгорания и разложения топлива переменного состава), парообразные, жидкие (сточные воды переменного состава) и твердые (золы) загрязняющие вещества [3, 4]. Строительная машина должна

⁵ Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (в ред. от 07.12.2011 г. № 417-ФЗ).

⁶ СП 48.13330.2011. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 (с изм. № 1). М.: Минрегион России, 2010.

обеспечивать безопасность труда и удобство работы обслуживающего персонала, управления, хороший обзор фронта работ, автоматическую очистку смотровых стекол кабины [11].



Рис. 2. Бурильная установка Gollwitzer



Рис. 3. Разработка грунта экскаватором Doosan

Фундамент под здание гостиницы выполняется с использованием буронабивных свай, устройство которых является причиной распространения шума и вибрации. Для предотвращения распространения подобных нагрузок устанавливают шумозащитные экраны (рис. 4). В рассматриваемом случае такие конструкции необходимо установить со стороны проспекта им. В. И. Ленина и улицы Краснознаменной.

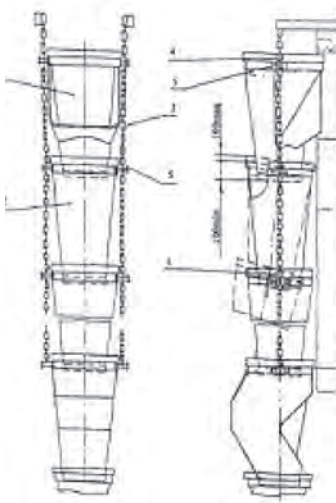


Рис. 4. Пример экологического решения по защите жилого дома от шумовых нагрузок

Внимание следует уделить строительным отходам.

Запрещается сливать в водоносные слои, в почву или в канализацию: щелочные сточные воды, например сточные воды, содержащие цемент; жидкости и сточные воды после резки, сверления или фрезерования; загрязненные сточные воды, например из строительного котлована.

При поэтажной уборке здания от строительных отходов и мусора не допускается сбрасывать их с этажей. Для безопасного и удобного удаления мусора со строительных участков необходимо использовать специальные приспособления типа секционных мусоросбросов и мусоропроводов. Изделие состоит из приемных горловин, звеньев мусоросброса, соединительных элементов, а также специальных металлических кронштейнов и гасителей скорости (рис. 5).



- 1 – конус приемный;
- 2 – конус прямой;
- 3 – штырь;
- 4 – карбид;
- 5 – узел крепления.

Рис. 5. Пример организации секционного мусоросброса

Строительная организация и субподрядчики должны обеспечить обращение со строительными отходами соответственно национальным правовым требованиям. Все строительные отходы необходимо отделять и удалять на регулируемой основе. Предпочтительна переработка строительных отходов. Следует предусмотреть сбор всех отходов в виде боя кирпича, бетона, стекла, плитки, некондиционных железобетонных изделий, обрезков стали, электродов, песка, щебня, обрывков рулонных материалов, тары, лакокрасочных материалов и т. д. в специальные контейнеры и вывоз на утилизацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Страхова Н. А., Корягин С. О. Метод повышения уровня экологической безопасности при строительстве // Интернет-журнал «Науковедение». 2012. № 4.
2. Рудкова А. С. Технологические решения организации строительной площадки в стесненных городских условиях // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, 16—19 мая 2017 г.: тез. докл. В 2-х ч. Ч. 2 (направления 10—15) / Отв. ред. А. В. Навроцкий. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. С. 138—139.
3. Чебанова С. А., Поляков В. Г., Ерохин Д. А. Engineering systems of heat supply and working on coal as sources of air pollution by finely dispersed dust // Procedia Engineering: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016), 2016 / Ed. by A. A. Radionov. Elsevier publishing, 2016. Vol. 150. Pp. 1989—1995.
4. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$) в воздушной среде / В. Н. Азаров, И. В. Тертишников, Е. А. Калюжина, Н. А. Маринин // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 402—406.
5. Рудкова А. С. Экологические проблемы при строительстве зданий в стесненных городских условиях // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы IV всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), г. Волгоград, 24—29 апреля 2017 г. / Под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. Волгоград: ВолгГАСУ, 2017. С. 207—209. URL: <http://vgasu.ru/publishing/on-line/>
6. Азаров В. Н., Трохимчук М. В., Сидельникова О. П. Research of dust content in the earth-works working area // Procedia Engineering: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016), 2016 / Ed. by A. A. Radionov. Elsevier publishing, 2016. Vol. 150. Pp. 2008—2012.
7. Сидельникова О. П. Экологические аспекты строительной отрасли // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. № 32. С. 229—233.
8. Азаров В. Н., Новиков В. С., Маринин Н. А. Анализ пыли, поступающей в атмосферу при разработке грунта бульдозерно-рыхлительным оборудованием // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политемат. 2011. Вып. 2(16). URL: www.vestnik.vgasu.ru
9. Селезнев М. Г. Обеспечение экологической безопасности при строительстве жилых зданий в районах с плотной застройкой // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политемат. 2010. Вып. 2(12). URL: www.vestnik.vgasu.ru
10. Бусуркин С. К. Влияние точечной застройки на жизнедеятельность населения // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы IV всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), г. Волгоград, 24—29 апр. 2017 г. / Под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. URL: <http://vgasu.ru/publishing/on-line/>
11. Экологическая безопасность в строительном комплексе / А. Н. Рязанцев, А. Л. Лысенко, Н. Г. Рыбальский, В. В. Алексашина, А. Н. Тетиор, Е. Д. Самотесов, В. В. Горбатовский, И. В. Игнатович. М.: НИИ-Природа, 1999.

© Поляков В. Г., Чебанова С. А., Ступницкий В. С., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Поляков В. Г., Чебанова С. А., Ступницкий В. С. Повышение экологической безопасности при строительстве зданий в стесненных городских условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 205—211.

Об авторах:

Поляков Владимир Геннадьевич — д-р экон. наук, профессор, декан факультета строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, polana@mail.ru

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

Ступницкий Владислав Сергеевич — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, vladislav-stupnickiy@rambler.ru

V. G. Polyakov, S. A. Chebanova, V. S. Stupnitskii

**INCREASE IN ECOLOGICAL SAFETY AT THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS
IN CONFINED URBAN CONDITIONS**

The article provides the analysis of the main environmental problems caused by the construction of buildings in the current developments in cities. Recommendations how to increase the ecological safety of construction under similar conditions are given.

Key words: construction, ecological safety, environmental issues, confined urban conditions.

For citation:

Polyakov V. G., Chebanova S. A., Stupnitskii V. S. [Increase in ecological safety at the construction of buildings in confined urban 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], 2018, iss. 51(70), pp. 205—211.

About authors:

Polyakov Vladimir Gennad'evich — Doctor of Economics, Professor, Dean of the Faculty of Civil Engineering and Municipal Services, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, polana@mail.ru

Chebanova Svetlana Aleksandrovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sveta_nes@mail.ru

Stupnitskii Vladislav Sergeevich — Master's Degree student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, vladislav-stupnickiy@rambler.ru

УДК 621.928.9

Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Ю. М. Фетисов

Волгоградский государственный технический университет

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

Предложено техническое решение, сущность которого заключается в том, что в конструкции устройства для пылеподавления применены технические решения, обеспечивающие пульсирующую, с увеличенным факелом и площадью распыления жидкости в запыленной рабочей зоне технологического оборудования автоматизированную очистку от засорения механическими примесями сопла распылителя.

Ключевые слова: пульсирующее распыление, факел распыления, запыленная зона, сопло распылителя, автоматизированная очистка сопла, запорная пластина, подпружиненный плунжер, запорная шайба, шток очистки сопла, кулачковый вал, подшипники качения, автономный привод.

Исследования рабочей зоны технологического оборудования в местах генерации пыли в угольной, горнодобывающей и других отраслях, при конвейерной транспортировке сыпучих материалов на промышленных и гражданских объектах показывают, что проблема совершенствования существующих способов пылеподавления в настоящее время остается актуальной.

Рассмотренные технические решения обладают теми или иными недостатками и не в полной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемым к безопасности работающего персонала и к экологической безопасности. Например, для подавления пыли в призабойном пространстве и в местах ее генерации разработано техническое устройство [1], которое содержит корпус с рабочим цилиндром, форсунки с разбрызгивателями и механизмом пылеподавления, состоящего из подпружиненного поршня с возможностью совершения им возвратно-поступательного движения. Однако во время эксплуатации происходит засорение форсунки механическими примесями, возникает потребность в прерывании технологического процесса для очистки ее от механических примесей, что приводит к снижению эксплуатационной надежности системы и дополнительным экономическим затратам на ее техническое обслуживание.

В угольной промышленности для нейтрализации взрывоопасной пылеметановоздушной среды применяется пневмогидроорошение [2], основой которого является электронный блок управления подачей воды, воздуха и ингибитора на распылители форсунки, при этом автоматическая очистка сопла распылителя от механических примесей не предусмотрена, что вызывает необходимость прерывать технологический процесс для этой цели, результатом чего является снижение производительности и безопасности в технологической зоне работы оборудования.

Устройство для улавливания пыли [3] содержит завихритель воздушного потока, форсунки для подвода воды и диффузор, снабженный основной и дополнительной форсунками, при этом давление в основной форсунке больше, чем в дополнительной. Однако в процессе работы происходит засорение

форсунок механическими примесями, вследствие чего требуется приостановка технологического процесса для очистки, что снижает эффективность работы.

Система автоматизированного пылеподавления [4] содержит пневмогидравлические форсунки тонкого распыления, установленные в начале конвейера. Система обеспечивает отключение форсунок в зависимости от параметров окружающей среды, однако не контролирует процесс их засорения механическими примесями, что приводит к вынужденной остановке технологического процесса, снижению производительности и дополнительным эксплуатационным затратам на техническое обслуживание.

Форсунка для создания водовоздушного тумана [5] содержит каналы подачи воды и воздуха под давлением в камеру смешения, при этом жиклер и подпружиненный хвостовик расположены соосно. В конструкции не предусмотрена система очистки канала подачи воды в форсунку от механических примесей, в результате чего требуются дополнительные эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и снижается производительность технологического оборудования.

Устройство для объемного пылеподавления в забое [6] используется в промышленности при разработке месторождений и проходке горных пород выработки в туннелестроении. Оно представляет собой механизм орошения, выполненный в виде кольца, по периметру которого расположены форсунки, обеспечивающие подачу воды к механизму. Несмотря на эффективность процесса очистки среды и уменьшение энергозатрат, функция очистки самой форсунки от механических примесей не предусмотрена, что негативно влияет на производительность технологического оборудования, требующего остановки производственного процесса для технического обслуживания.

Устройство для пылеподавления [7] применяется при дроблении горной породы в горно-металлургической, угольной, строительной и других отраслях и содержит форсунки направленного действия, расположенные в зоне развала. Данная конструкция не оснащена средствами автоматизированной очистки форсунок от механических примесей, что является причиной периодической остановки рабочего процесса для технического обслуживания. Как следствие, теряется производительность и эффективность производства.

Устройство для подавления пыли на площадях и дорогах [8] содержит форсунку, которая представляет собой водоразбрызгиватель с подпружиненным и обеспечивающим возвратно-поступательное движение поршнем со штоком с мениском. Техническая вода поступает в форсунку, снабженную клапаном, который не обеспечивает ее очистку от механических примесей и, соответственно, снижает эффективность работы.

Устройство для подавления пыли в призабойном пространстве и в местах ее концентрации [9] состоит из подпружиненного поршня, совершающего возвратно-поступательное движение и взаимодействующего с подпружиненным клапаном. В процессе работы в форсунке накапливаются механические отложения, которые препятствуют распылению воды. Поэтому для очистки механических примесей необходимо приостанавливать технологический процесс подавления пыли и проводить техническое обслуживание или ремонт по замене форсунки.

Форсунка [10] может применяться для подавления пыли в местах ее генерации. Она содержит каналы для подачи воды и воздуха, жиклера и соосно расположенный хвостовик. При подачи воды в камеру смешения, имеющую коническую форму, на стенке канала образуются отложения механических примесей, которые препятствуют формированию факела распыла из сопла форсунки, вследствие чего теряется эффективность подавления пыли. Для устранения этого недостатка необходимо приостановить технологический процесс рабочего оборудования по организации технического обслуживания, что негативно отразится на производительности.

Особенностью конструкции форсунки для подавления пыли [11] является то, что ее корпус и крышка имеют концевые участки с формой конуса, при этом крышка перемещается вдоль корпуса. В камере завихрения под действием давления сжимается пружина, открывая проход для жидкости. При сбросе давления пружина возвращает запирающий элемент в исходное положение и закрывает выходной канал, исключая засорение форсунки. Такое техническое решение весьма эффективно, однако при очистке форсунки от механических примесей является вынужденной приостановка технологического процесса, т. е. в автономном режиме необходимо периодически закрывать и открывать форсунку, что, как следствие, ведет к снижению производительности технологического оборудования.

Форсунка плоскоструйная [12] применяется в различных отраслях промышленности для подавления пыли. Технический результат такого конструктивного решения — увеличение угла распыления факела и дальности орошения. В корпусе размещены каналы подачи воды и воздуха, сопло для выхода водно-воздушной смеси и жиклер с соосно расположенным хвостовиком, имеющим форму полусферы, что позволяет расширить эксплуатационные возможности форсунки, например дальнобойность оросительного факела. Однако конструкция не обеспечена системой очистки во время работы от механических примесей жиклера, что является существенным недостатком, провоцирующим снижение производительности технологического оборудования и повышение эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Распылитель жидкости [13] для увлажнения воздуха содержит корпус, трубку для подачи жидкости, распылительный диск, электродвигатель, на валу которого установлена крыльчатка вентилятора и обтекатель, выполненный в виде усеченного конуса, и перемещается в вертикальном направлении. Недостатком распылителя являются ограниченные возможности очистки от механических примесей сопла распылителя, что требует остановки технологического процесса работы оборудования для проведения технического обслуживания и ремонта, что приводит к снижению производительности и повышению эксплуатационных затрат.

Устройство для распыления жидкости [14] предназначено для увлажнения воздушной среды. Цель конструкторского решения — изменение режимов распыления в широких пределах дисперсности получаемых аэрозолей. В связи с этим данное устройство выполнено в виде гидропневматического технологического комплекса и содержит узел распыления с камерой завихрения с тангенциальными попарно встречными каналами. Технический результат это-

го конструктивного решения достигнут за счет получения аэрозолей высокой дисперсности и возможности количественного и качественного регулирования в процессе эксплуатации. Однако для получения высокой дисперсности смеси необходимо исключить засорение распылителя механическими примесями и химическими окислами на стенках сопла распылителя форсунки. Поэтому отсутствие системы автоматического контроля и удаления примесей или засоров является существенным недостатком. Вынужденная остановка технологического процесса для проведения технического обслуживания или ремонта сопровождается увеличением эксплуатационных затрат и снижением производительности.

Пневматическая форсунка [15] предназначена для распыления жидкостей и суспензий, содержит корпус с внутренней кольцевой камерой и патрубком для подвода жидкости и газа, переходящей в диффузор, на конце которого расположена насадка с ассиметричной головкой. Пневматическая форсунка позволяет обеспечить нужную дисперсность распыления различных суспензий без интенсивного износа технологического оборудования.

Известна смачивающая водяная система вальца катка строительно-дорожной машины [16], содержащая форсунку для распыления воды и увлажнения поверхности вальца катка, в которой корпус выполнен в виде цилиндра с резьбовой внутренней поверхностью, предназначенной для навинчивания на подводящий трубопровод, буртом для уплотнительного кольца, с размещенным в кольце коническим распылителем, сеткой для фильтрации воды в форсунке и уплотнительным кольцом, краном подачи воды, трубы и главным фильтром смачивающей системы, в корпусе которого размещен сетчатый стакан для отстаивания осадка и уплотнительное кольцо. Недостатком устройства является то, что во время эксплуатации происходит засорение механическими примесями фильтра форсунки, крана подачи воды и главного фильтра, что приводит к выходу из строя водяного насоса, а следовательно, и к снижению эксплуатационной надежности системы, а также дополнительным экономическим затратам на ее техническое обслуживание.

Известна форсунка для распыления жидкости [17], включающая корпус с входным и выходным каналом, с возможностью перекрытия его штоком, упругий элемент, выполненный в виде пластины с V-образным поперечным сечением, ребро которой жестко прикреплено к корпусу со стороны входного канала. Концы пластины и штока со стороны выходного канала шарнирно соединены между собой с помощью двух стержней. Недостатком форсунки является то, что при эксплуатации необходимо регулярно осуществлять контроль качества распыления жидкости в зависимости от засорения. Кроме того, при ее засорении требуется прерывать технологический процесс работы машины. При этом для очистки канала форсунки штоком, связанным с упругим элементом, требуется отключить насос — источник подачи жидкости, т. е. принудительно убрать давление в проходном сечении форсунки, чтобы упругие силы разжали V-образную пружину и обеспечили выталкивание штоком механических примесей из выходного канала. Еще одним недостатком форсунки является также и то, что при усталостном разрушении хотя бы одной половины пластины, как при включенном, так и при отключенном насосе подачи жидкости,

произойдет заклинивание штока в выходном канале и, соответственно, приостановится удаление механических примесей из зоны засорения форсунки. К числу недостатков данной форсунки следует отнести и ограниченный факел распыления жидкости, так как для его формирования в форсунке используется только одно отверстие.

В других технических решениях [18, 19] успешно решены задачи формирования факела и дальноточности распыления жидкости и подавления пыли в запыленных зонах производства, вредного для здоровья человека. Однако в упомянутых конструктивных решениях не прослеживается тенденция автоматизированной очистки форсунок от механических примесей, что приводит к приостановке работы технологического оборудования для непланового технического обслуживания и ремонта. Кроме того, снижается производительность, повышается себестоимость продукции, возрастают эксплуатационные затраты.

В работах [20, 21] рассмотрены основные аспекты повышения качества функционирования технологического оборудования. Однако они касаются общих принципов совершенствования узлов и механизмов технологического оборудования.

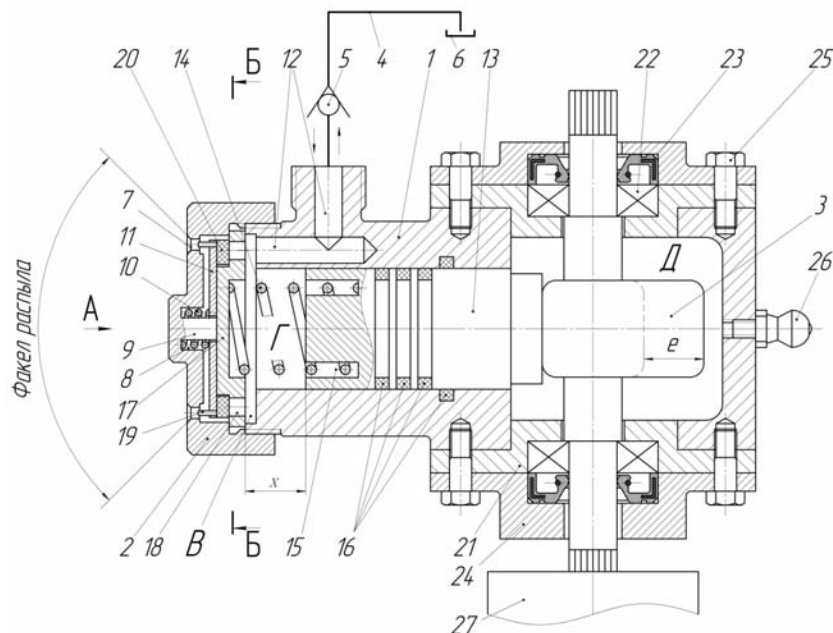
В связи с этим целью настоящего исследования является разработка конструкции, позволяющей повышать технический уровень устройств подавления пыли в зоне запыленности и загазованности путем введения в конструкцию анализируемых устройств элемента автоматизированной очистки распылителя форсунки от механических примесей и засорения при одновременном расширении площади распыления жидкости и сокращении эксплуатационных затрат на техническое обслуживание. Для решения этой задачи форсунка включает корпус с входным и выходным каналами, штоком, установленным с возможностью перекрытия выходного канала, и упругим элементом, выполненным в виде пластины, причем выходной канал корпуса снабжен распылителем с расточкой и направляющим цилиндрическим стержнем под установку подпружиненной запорной пластины и равноудаленными от оси корпуса отверстиями, кулачковым валом и входным каналом подачи жидкости, сообщающимся через обратный клапан с баком. При этом внутри корпуса, на его торцевой поверхности выполнена проточка, сообщающаяся с входным каналом подачи жидкости и полостью, с размещенными в ней плунжером с пружиной, причем герметичность сопрягаемых поверхностей корпуса и подпружиненного плунжера обеспечивается уплотнительными кольцами. Кроме этого, между распылителем и торцом корпуса размещены запорная шайба с отверстиями, равноудаленными от оси корпуса, и подпружиненная запорная пластина, снабженная с одной стороны неподвижно установленными штоками для очистки от механических примесей отверстий распылителя, а с другой неподвижным эластичным кольцом, закрывающим отверстия запорной шайбы, при этом кулачковый вал с эксцентриситетом, равным полному ходу плунжера, установлен на подшипниках качения, полость которых закрыта крышками, на корпусе форсунки установлена масленка для смазки подшипников. Предлагаемое техническое решение обеспечивает пульсирующую подачу жидкости в форсунку и механизм автоматизированной очистки отверстий распылителя форсунки от засорения ме-

ханическими примесями, а также позволяет расширить площадь распыления, повысить эксплуатационную надежность устройства и снизить экономические затраты на его техническое обслуживание.

На рис. схематично представлен общий вид и детали предлагаемой конструкции форсунки. Конструкция форсунки содержит корпус 1, снабженный распылителем 2, кулачковый вал 3 и гидролинию подачи жидкости 4, снабженную обратным клапаном 5, сообщающимся с баком 6 рабочей жидкости. В распылителе 2 выполнены отверстия 7 равноудаленные от оси корпуса 1, расточка 8 и направляющий цилиндрический стержень 9 для установки пружины 10 запорной пластины 11. Внутри корпуса 1, на его торцевой поверхности, выполнены проточка В и канал 12 подачи жидкости в корпус 1. В корпусе 1 выполнена полость Г, с размещенным в ней плунжером 13 с пружиной 14, установленной в расточке 15 подпружиненного плунжера 13, при этом глубина расточки 15 равна полному ходу x подпружиненного плунжера 13. Герметичность сопрягаемых поверхностей корпуса 1 и подпружиненного плунжера 13 обеспечивается уплотнительными кольцами 16, выполненными из эластичного материала, например из резины. Между распылителем 2 и торцом корпуса 1 размещены запорная пластина 11 и запорная шайба 17. Запорная шайба 17 имеет равноудаленные от оси корпуса 1 отверстия 18. На запорной пластине 11 с одной стороны неподвижно установлены штоки 19 для очистки от механических примесей отверстий 7 распылителя 2, а с другой неподвижно установлено эластичное кольцо 20, выполненное, например, из резины и закрывающее отверстия 18 запорной шайбы 17. Кулачковый вал 3, также установленный в корпусе 1 и размещенный в полости Д, имеет эксцентриситет e , равный x — полному ходу подпружиненного плунжера 13, при этом кулачковый вал 3 установлен в стаканах 21 на опорах подшипников качения 22, защищенных манжетами 23, размещенными в крышках 24 и закрепленными винтами 25. Смазка подшипников 22 полости Д осуществляется с помощью масленки 26. Кулачковый вал 3 выполнен с возможностью вращения от автономного привода 27.

В рабочем положении форсунки плунжер 2 совершает возвратно-поступательное движение от пружины 14, кулачкового вала 3 и привода 27, при этом происходит пульсирующая подача жидкости через канал 12, проточку В, полость Г и распылитель 2 в запыленную рабочую зону. При повороте кулачкового вала 3 в крайнее правое положение подпружиненный плунжер 13 под воздействием пружины 14 переместится до упора в кулачковый вал 3, и рабочая жидкость через открытый обратный клапан 5 гидролинии 4 из бака 6 по каналу 12, проточке В корпуса 1 заполнит полость Г корпуса 1. Одновременно под действием пружины 10 эластичное кольцо 20, расположенное на запорной пластине 11, закроет отверстия 18 запорной шайбы 17.

При движении кулачкового вала 3 в обратном направлении подпружиненный плунжер 13, сжимая пружину 14, перемещается влево, и под действием выдавливаемой из полости Г корпуса 1 рабочей жидкости пружина 10 сжимается, а эластичное кольцо 20 запорной пластины 11 открывает отверстия 18 запорной шайбы 17, и жидкость через отверстия 7 распылителя 2 выбрасывается в запыленную рабочую зону, формируя факел распыла рабочей жидкости, при



Фиг. 3

Таким образом, предлагаемое техническое решение в сравнении с рассмотренными устройствами не требует контроля засорения форсунки, поскольку обеспечивается автоматическая очистка распылителя от механических при-

месей без остановки технологического процесса, что позволяет повысить при пульсирующей подачи жидкости в форсунку и расширении площади распыления эксплуатационную надежность устройства и снизить экономические затраты на ее техническое обслуживание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройство для подавления пыли в призабойном пространстве и в местах ее генерации: пат. на изобретение 96115785 А Рос. Федерация / Батуев Г. А. 1998.
2. Автоматическая система пневмоорошения и ингибирования взрывчатой метановоздушной среды: пат. на изобретение 2539194 С1 Рос. Федерация / Трубицин А. А., Азатян В. Г., Филатов П. Ю., Трубицина Д. А. 2015, Бюл. № 2.
3. Устройство для улавливания пыли: пат. на изобретение 200111905 А Рос. Федерация / Сметанников Е. В. 2004, Бюл. № 27.
4. Система автоматизированного пылеподавления: пат. на изобретение 2588122 С1 Рос. Федерация / Пашкевич М. А., Смирнов Ю. Д., Иванов А. Д., Добрынин О. С. 2016, Бюл. № 18.
5. Форсунка для создания водовоздушного тумана: пат. на изобретение 136091 U1 Рос. Федерация / Гонченко Б. В., Громаковский Д. Г., Ковшов А. Г., Меньшов А. П., Мохонок В. П., Приказчиков В. А., Шигин С. В. 2006, Бюл. № 32.
6. Устройство для объемного пылеподавления в забое: пат. на полезную модель 127403 U1 Рос. Федерация / Олейник М. Я. 2006, Бюл. № 20.
7. Устройство для обеспыливания узла перегрузки сыпучего материала с конвейера на конвейер: пат. на полезную модель 174240 U1 Рос. Федерация / Мишта В. П., Мишта П. В., Мишта П. В. 2017, Бюл. № 28.
8. Устройство для подавления пыли на площадях и дорогах: пат. на изобретение 2120516 С1 Рос. Федерация / Батуев Г. А. 1998, Бюл. № 24.
9. Установка для подавления пыли: пат. на изобретение 2089731 С1 Рос. Федерация / Сысов Ю. М., Яковлев В. Н. 1997, Бюл. № 21.
10. Распылитель для жидкостей и сопловая вставка: пат. 2205705 С1 Рос. Федерация / Абпланалп Р. Г. 2003, Бюл. № 17.
11. Распылитель жидкости: пат. на полезную модель 2329873 С2 Рос. Федерация / Душкин А. Л., Карлышев А. В., Рязанцев Н. Н. 2008, Бюл. № 21.
12. Форсунка: пат. на полезную модель 13490 U1 Рос. Федерация / Таймаров М. А., Лавирко Ю. В., Ахметова Р. В. 2017, Бюл. № 29.
13. Распылитель жидкости: пат. на изобретение 2574678 С1 Рос. Федерация / Андреев В. Н., Вегера В. Д., Корнилов Т. В., Лысов А. К., Павлюшин В. А. 2016, Бюл. № 4.
14. Устройство для распыления жидкости: пат. на изобретение 2369442 С2 Рос. Федерация / Павлов С. Д. 2009, Бюл. № 29.
15. Пневматическая форсунка: пат. на изобретение 2390386 С1 Рос. Федерация / Мальцев Л. И., Кравченко И. В., Кравченко А. И., Самборский В. Е. 2010, Бюл. № 15.
16. ДУ 98.000.000 ДСЕ. Альбом деталей к сборочным единицам. 2003. № 2.
17. Форсунка: пат. на изобретение 1691537 А1 Е21 F5/04 СССР / Усик А. Г., Сергеев С. И., Шляпин В. Г. 1991, Бюл. № 42.
18. Устройство для подачи оросительной жидкости к форсунке: пат. на изобретение 2295035 С2 Рос. Федерация / Лумпов С. И., Лобачев В. Е. 2007, Бюл. № 7.
19. Устройство для подачи оросительной жидкости к форсунке: пат. на изобретение 2237164 С2 Рос. Федерация / Чернов В. А., Лумпов С. И., Лобачев В. Е. 2004.
20. Бурлаченко О. В., Сердобинцев Ю. П., Схиртладзе А. А. Повышение качества функционирования технологического оборудования: моногр. Старый Оскол: ТНТ, 2010. 411 с.
21. Гидравлический затвор исполнительного механизма системы защиты гидропривода строительномашин / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Ю. М. Фетисов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2017. Вып. 47(66). С. 152—162.

© Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фетисов Ю. М., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Устройство для пылеподавления / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Ю. М. Фетисов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 212—220.

Об авторах:

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

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

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

Фетисов Юрий Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, fetisow.yurij@yandex.ru

N. A. Fomenko, O. V. Burlachenko, S. V. Aleksikov, Yu. M. Fetisov

DEVICE FOR DUST PREVENTION

The essence of the proposed technical solution is that the applied technical solutions ensure pulsating with a larger swath and area of spraying fluid in a dusty working area of technological equipment, automated purification from mechanical impurities of the spray nozzle.

Key words: pulsating spraying, spray swath, dusty area, spray nozzles, automated cleaning of nozzle, shut-off plate, spring loaded plunger, locking washer, nozzle cleaning rod, cam shaft, rolling bearings, independent drive.

For citation:

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Fetisov Yu. M. [Device for dust prevention]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 212—220.

About authors:

Fomenko Nikolai Aleksandrovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Burlachenko Oleg Vasil'evich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Director for Scientific Work, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Aleksikov Sergei Vasil'evich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AL34rus@mail.ru

Fetisov Yurii Mikhailovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, fetisow.yurij@yandex.ru

УДК 711.4

Н. А. Ястребова

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ РАССЕЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрен процесс трансформации исторических форм расселения в границах современной Волгоградской области начиная с допромышленного периода (XVI в. — начало XX в.), первых десятилетий XX в. и до настоящего времени. Затронута сложная проблема поиска пути развития городских исторических поселений в пространственной системе областного расселения, а также вопросы самоидентичности административных городских субъектов. Проанализированы проектные методы как одно из средств планирования и развития исторических городских поселений.

К л ю ч е в ы е с л о в а : урбанизация, система расселения, агломерация.

За последние четыре столетия активного антропогенного освоения территории Волгоградской области произошло целенаправленное формирование поперечной оси расселения, в основу которой лег остов Царицынской сторожевой линии, что и предопределило пространственные изменения в процессе урбанизации «внутренних территорий» волго-донского междуречья [1]. Также была сформирована система точечных опорных пунктов — крепостей вдоль русла реки Волги, представляющих собой относительно крупные поселения волжского казачества. Структура расселения Волгоградской области — это уникальное сочетание исторических и современных типов расселения: в настоящее время пространственная система населенных мест представляет странный симбиоз относительно мелких поселений — сохранившихся станиц и хуторов донского казачества — и наследия планового ведения хозяйства и социалистической индустриализации с жестко регламентируемыми критериями его показателей, в том числе и в сфере градостроительства — крупных районных центров [2].

Началом периода активной трансформации сформировавшейся ранее территориальной системы расселения можно считать 1918 г. С 23 марта по 4 мая 1918 г. (номинально по 30 сентября 1918 г.) на территории современной Волгоградской области существовала Донская Советская Республика, а после ее ликвидации — Всевеликое войско Донское (до 1920 г.). В 1920 г. Область войска Донского была упразднена, семь ее округов вошли в Донскую область, а три округа — 2-й Донской, Хоперский и Усть-Медведицкий — вошли в состав Царицынской губернии (рис. 1). После 1917 г. в стране начались коренные социально-экономические преобразования. Они оказали большое влияние на численность и особенности воспроизводства населения. Административные изменения не повлияли на уклад и быт поселений, входящих ранее в структуру расселения внутри войска Донского.

В конце 1920-х гг. в стране был взят курс на индустриализацию промышленности и коллективизацию сельского хозяйства. При этом индустриализация

являлась приоритетной государственной задачей [2]. Централизация управления хозяйством позволила осуществить накопление финансовых ресурсов и начать бурное промышленное строительство. Сталинград занимал важное место в индустриализации юго-востока европейской части страны. В начале 30-х гг. XX в. в городе были построены крупная тепловая электростанция и завод по производству химической продукции. В три раза была увеличена после реконструкции мощность металлургического завода специальных сталей «Красный Октябрь», а также был построен крупнейший в стране тракторный завод. Промышленные стройки требовали большого количества трудовых ресурсов. Трудовые ресурсы поступали из Сталинградской области и сопредельных областей, главным образом из сельского населения региона. Архивные данные свидетельствуют о том, что в сельском хозяйстве осуществлялась коренная социалистическая реконструкция. Процесс стремительного роста планировочной структуры областного центра отражен в довоенном генеральном плане г. Сталинграда. В области начала формироваться крупнейшая планировочная городская структура путем слияния разрозненных ранее поселений — системы рабочих поселков — в единую структуру — Сталинград [4, 5]. Таким образом, четырехсотлетний период активного антропогенного и градостроительного освоения территории может быть условно структурирован следующим образом:

Первый этап: формирование пространственных очертаний территории войска Донского. Формирование линейной системы расселения вдоль русла реки Волги на землях волжского казачества, с характерными поселениями-крепостями: Дмитриевск (Камышин), Дубовка, Царицын. Появление поперечной оси расселения вдоль Царицынской сторожевой линии [6].

Второй этап: упразднение территории войска Донского и возврат земель под юрисдикцию Государства Российского, приведшие к разрушению равномерной сети преимущественного сельского расселения в срединной территории современной Волгоградской области. Формирование Царицынского уезда и области. Учреждение Сталинградской области и начало поляризации внутри системы расселения территории.

Третий этап: поляризация в системе расселения Волгоградской области — агломерирование планировочной структуры Волгограда на фоне упрощения пространственной структуры областного расселения.

Следует отметить, что изначальная схема расселения на территории современной Волгоградской области складывалась из двух независимых и параллельно сосуществующих исторически сложившихся систем расселения. Трагедия коллективизации, раскулачивания и целенаправленного уничтожения традиций донского казачества, а затем и Вторая мировая война привели к фатальной трансформации исторической системы расселения: гармоничная система сосуществования крупных центров-станций и дополняющих их созвездий мелких поселений вдоль основных рек территории была уничтожена. Как отмечалось выше, целенаправленное формирование промышленного центра на базе планировочной структуры Царицына — Сталинграда — Волгограда привело к тому, что оставшийся скелет расселения формировался преимущественно переименованными на новый лад крупными станицами и поселениями, возникающими уже в соответствии с госпланом. Попытка сформировать равномерную сеть поселений

хоть и носила некую иллюзорность, однако не избежала законов всемирной урбанизации — роста количества и качества отдельных своих компонентов (поселений) вдоль основных транспортных коммуникаций.



Рис. 1. Система расселения территории в границах современной Волгоградской области в начале XX в.

В настоящее время Волгоградская область обладает значительным количеством исторических поселений, однако городов-памятников архитектуры, сохранивших свою аутентичную архитектурную среду как целостную среду, в нашем регионе нет [7]. Для Волгоградской области период XVIII — начала XX в. является уникальным периодом формирования своеобразной структуры расселения и его отдельных компонентов (национальных казачьих поселений, монастырей и других архитектурно-градостроительных объектов) [8]. Согласно типологии, предложенной А. Н. Логиновым, на вершине градостроительной иерархии казачьего поселения стоит **станица** как наиболее стабильная в планировочном плане территориальная структура, кроме нее выявлены городки, хутора и достаточно небольшие поселения, такие как слободы, юрты, остроги и т. д. [9]. Сетчатая структура малых поселений, в основе которых лежит казачья станица с прямоугольной сеткой кварталов, и ныне обладает удивительной генетической устойчивостью планировки благодаря соразмерности природной системе территории своего существования и изолированности от моноцентричной Волгоградской агломерации. Именно пространственная

изолированность обширной территории Волгоградской области от областного центра и стала стимулом для мучительных поисков идентичности при осмыслении перспективы развития поселений «срединной» части Волгоградской области в эпоху рыночной экономики. Возврат к историческим бытовым традициям запустил характерный для многих регионов тренд: развитие поселения как хозяйственно-административного субъекта в контексте повышения его привлекательности для инвесторов с позиций раскрытия привлекательных исторических особенностей и природного окружения. Казачество явилось тем брендом, который взяли на вооружение многие поселения, действительно сохранившие в своих планировочных структурах элементы исторических поселений. Когда перед нами раскрылся мир культурных ресурсов, стало ясно, что каждый город может занимать свою уникальную нишу. При сравнении взаимодействия локальных и глобальных течений в архитектуре российских городов напрашивается вывод о преобладании региональных направлений и устойчивой тенденции к самопиару городов. Для Волгограда как административной единицы начало XXI в. совпало с периодом упущенных возможностей на фоне усугубляющегося отставания в гонке за выживание, которая вышла за рамки региона на протяжении жизни всего одного поколения. Волгоград утратил свои лидерские позиции города-порта пяти морей, крупнейшего промышленного и транспортного узла в южном регионе России. Пальма первенства перешла к Ростову-на-Дону.

Одновременно в начале XXI в. в сфере управления территориальным развитием федеральные власти последовательно сокращали возможности корректировки вероятных спорных ситуаций при принятии правовых решений в сфере территориального планирования введением все новых поправок к Земельному, Водному, Лесному и Градостроительному кодексам РФ. Базовая редакция Градостроительного кодекса, подготовленная фондом «Институт экономики города», буквально трактовала федеративность как территориальное планирование с жесткой степенью локализации крупномасштабных схем пространственного развития к границам субъектов Федерации¹. Это обстоятельство фактически заблокировало возможность проработки пространственно очерченных концепций развития макрорегионов. Столь же буквальное понимание закона о местном самоуправлении закрепило необходимость создания генеральных планов за обособленными муниципалитетами, не имеющими для этого средств [11]. Поправки, принятые Государственной думой в первом чтении к концу весенней сессии 2010 г., способствовали дальнейшему выхолащиванию содержания генерального плана и схем территориального планирования, согласно которым главное требование к указанным документам для муниципальных образований — это их наличие, а не качество содержащейся в них информации.

В сфере повседневного функционирования административно-территориальные единицы вынуждены опираться на местные сообщества. Это тот уникальный каркас «города-региона», уже образованного крупными, средними и отчасти малыми городами или ждущего своего развития до уровня smart-city. Применительно к Волгоградской области модель города-региона и тем более умного города несколько преждевременна. Для нашего региона актуаль-

¹ Градостроительный кодекс Российской Федерации. М.: Норма ; ИНФРА-М, 2014.

ной стала тенденция осмысления содержания концепции устойчивого развития городов. Лидером в поиске идеи восприятия перспектив города сквозь призму экономического, территориального, социального и экологического развития является Волгоградская агломерация. В 1999 г. творческим коллективом ведущих ученых вузов Волгограда под руководством профессора А. В. Антюфеева в рамках «Экономико-математической модели устойчивого развития Волгограда» была разработана концепция устойчивого градостроительного развития Волгограда до 2010 г. «Большой Волгоград» [12]. В ней был предложен в том числе и вариант территориального развития ведущих городов области.

В настоящий момент Волгоградская агломерация — это территория концентрации научных, научно-технических, образовательных объектов в структуре территорий области. Также с оговорками Волгоградскую агломерацию можно трактовать как территорию опережающего развития в формировании инновационной экономики области в целом. Это является общемировой тенденцией — рассматривать научно-образовательные и научно-инновационные комплексы как ресурсы, определяющие вектор экономического, территориального и городского развития. В идеале инвестиционно привлекательная территория или пространство — это территория, обустроенная всем необходимым для создания качественных условий жизни и работы для высококвалифицированных специалистов, обеспечения позитивных социальных связей, умножения богатства и разнообразия городской культуры [13]. В градостроительном плане эти требования обеспечиваются повышением экологических качеств среды за счет создания парков, озелененных пространств и водоемов, созданием удобной транспортной и инженерной инфраструктуры внешних и внутренних связей, включая удобные и доступные паркинги; планировочной сетью пешеходных и велосипедных путей, разнообразными публичными пространствами; диверсифицированной сетью торгового, досугового, спортивного, культурного и социально-бытового обслуживания.

Однако обозначенные выше фазы являются идеализированной схемой развития в приложении к местным условиям. Переводя общетеоретические факторы в практическую плоскость реализации идеи «процветания», можно напомнить о градостроительных проектах, направленных на формирование качественной городской среды с новыми объектами и общественными пространствами, обогащающими общую атмосферу города. Вектор развития открытых городских общественных пространств, природных парков и комплексов, совмещающих в своем составе территории с различными видами разрешенной градостроительной деятельности, подкреплен множеством архитектурно-градостроительных проектов. Одним из них является проект по формированию пешеходной зоны на базе нескольких улиц Центрального административного района города Волгограда. До настоящего времени не сформировано ни одной пешеходной зоны и до сих пор в административно-правовом поле не существует понятие «городской центр» как связная средовая структура.

Проект пешеходной зоны для центральной части Волгограда был выполнен в рамках дипломного проектирования в 2016 г. и предусматривал формирование пешеходной зоны как связной системы пешеходных улиц, ранее таковыми не являющихся (рис. 2).

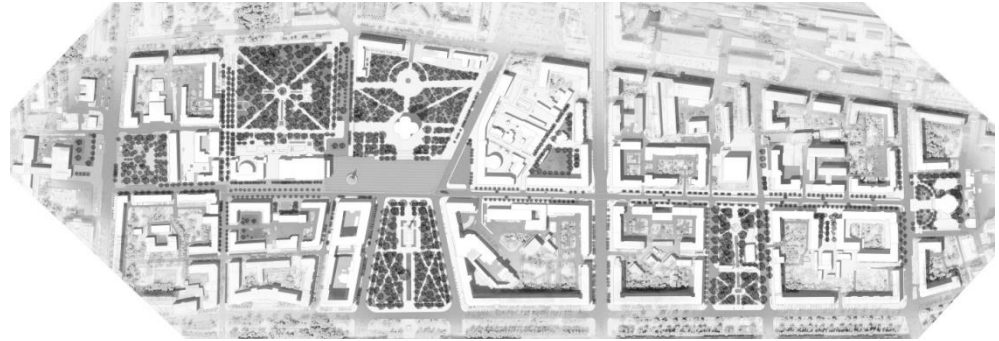


Рис. 2. Проект пешеходной ул. Мира в границах ул. Краснознаменной и ул. Гагарина (преддипломный проект О. А. Мухаметовой, гр. АРХ-1-11, дипломный руководитель — канд. арх. доц. Н. А. Ястребова, Волгоград, 2016)

На уровне областного расселения тенденция «возвращения к корням» привела к своеобразному развитию совокупности территориальной самобытности (интересу к национальным традициям донского казачества), с раскрытием привлекательности архитектурно-ландшафтного облика поселений, гармонирующих с ландшафтами Волго-Донского междуречья [14]. Фактически за пределами Волгоградской агломерации сохранилась система расселения, сформированная в советский период и ориентированная на аграрный потенциал территории. Ведущими факторами развития поселений стали проекты, активно привлекающие «историческое прошлое» и предусматривающие благоприятные условия для отдыха и туризма. Само понятие «исторические поселения» достаточно многозначно. Поэтому применительно к контексту статьи, рассматривающей планировочные аспекты развития поселений и преимущественно архитектурно-градостроительные методы, требуется определенная степень упрощения данного понятия. В настоящей статье имеются в виду поселения, обладающие как отдельными объектами культурного наследия или их группой, так и недвижимые памятники истории и культуры, а именно градостроительные формирования, историко-культурные ландшафты, памятные места.

Исторический аспект проявился как в формальном отношении — в восстановлении названий типов поселений (переименование поселка в станицу), так и в целенаправленном восстановлении планировочных компонентов, имеющих историко-культурную ценность. Уникальной особенностью Волгоградской области являются точечные объекты — крепости, появившиеся в период строительства Царицынской сторожевой линии².

Одним из исторических поселений, возникших благодаря историческому объекту — Грачевской крепости, — является современный хутор Грачи. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы бакалавром М. Р. Цебоевой под руководством канд. арх. доцента Н. А. Ястребовой был разработан проект по созданию компактного исторического ландшафтно-рекреационного комплекса «Грачевский редут» на месте исторического объекта (рис. 3). Концеп-

² Федеральная целевая программа «Культура России (2012—2018 годы)». URL: <http://kulturnoe-nasledie.ru/>

ция проекта представляет собой компактную структуру, формирующую изолированный от внешних воздействий комплекс, что характерно для оборонительных сооружений выбранной эпохи. Проектом предполагается восстановление исторического объекта «Грачевский редут»; воссоздание поля для реставрации сражений; создание инфраструктуры для посетителей и персонала, создание объектов жилья, выставочных территорий, столовой, творческих мастерских, образовательных и лекционных площадок, медицинского пункта; инженерное благоустройство территории; вертикальное функциональное зонирование; создание парковочных мест; формирование гуманной среды для жизни и развития человека.

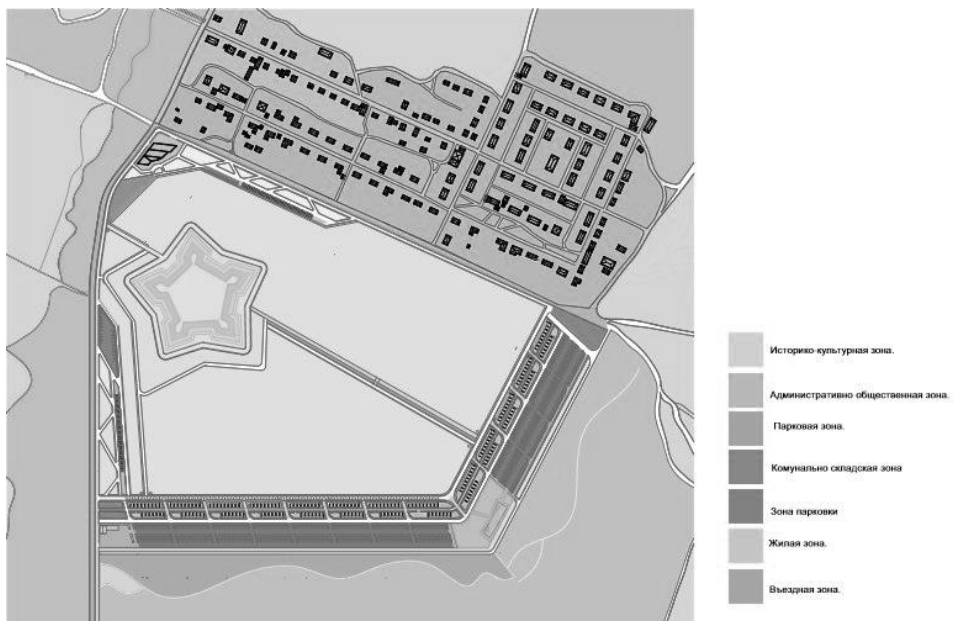


Рис. 3. Схема планировки исторического ландшафтно-рекреационного комплекса «Грачевский редут». Рук. Н. А. Ястребова, Волгоград, 2017

Проекты по выявлению исторического центра поселения и формированию внутри территорий также занимают весомый сектор практической реализации проектов развития территорий. Одним из центров казачества на территории Волгоградской области является такое поселение, как станица Усть-Медведицкая (город Серафимович) (рис. 4). В ходе выполнения исследовательской работы по выявлению территориальных особенностей казачьих поселений были подготовлены проекты по формированию пешеходных пространств для вышеуказанных поселений.

В частности, концепция развития исторической части города Серафимовича заключается в консервации исторического облика города и создании пешеходного маршрута с обзорными точками. Для сохранения архитектурно-исторического наследия необходимо ограничить жилую функцию в зоне исторической застройки, а также сформировать общественно-деловую зону.



Рис. 4. Схема пешеходных маршрутов в исторической части Серафимовича.
Автор Н. А. Селиванова

Одним из крупных городов области, расположенных на значительном удалении от Волгоградской агломерации, является Камышин. Историческое поселение обладает своеобразной архитектурно-градостроительной структурой, привлекающей к себе любителей историко-культурного туризма.

Основным решением по сохранению исторических центров или их отдельных компонентов в малых городах является выявление территориальных границ исторического центра в структуре поселения с целенаправленным формированием пешеходной зоны. Данное архитектурно-градостроительное решение является компенсационной адаптацией застройки позапрошлых веков к современным понятиям о комфортной городской среде, а также стимулирует развитие социально-экономической базы конкретной административной единицы. В связи с этим в рамках учебного проектирования был разработан проект формирования пешеходных маршрутов в границах городского центра Камышина. С этой целью были составлены карты освоения территории с указанием основных периодов застройки (рис. 5), а также сформирована схема, фиксирующая современную сохранность архитектурно-исторических объектов. Объекты и их описание были заимствованы из научных исследований, выполненной в 1980-х гг. О. Адамовым и доцентом кафедры архитектурного проектирования Т. П. Озирченко.

Значительная часть территории Волгоградской области с ее уникальными природными комплексами и своеобразной системой расселения, безусловно, требует полномасштабного научного осознания и полноценного и всестороннего осмысления как ее внутренних особенностей и проблем, так и факторов, обеспечивающих ее включенность в федеративную систему городов — регионы. Приблизить эту потенциальную возможность можно и с малого: усилиями отдельных муниципалитетов, ищущих пути для развития своих поселений. Профессиональное градостроительное сообщество, в свою очередь, также обладает рядом практических инструментов, способных активизировать взаимодействие непосредственных участников городской жизни: градостроительное зонирование, выполненное с учетом контекста средовых объектов, а также персонификация кадастрового плана в зоне исторической застройки.



Рис. 5. Градостроительный план Камышина с нанесением исторической сетки кварталов. (схема выполнена в рамках учебного проектирования. Рук. Н. А. Ястребова, Волгоград, 2017)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минх А. Н. Историко-географический словарь Саратовской губернии: 5 т. Т. 1. Южные уезды: Камышинский и Царицынский. Саратов, 1898. 207 с.
2. Ястребова Н. А. Основные этапы урбанизации Волгоградской области // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2017. Вып. 48(67). С. 194—204. URL: http://vgasu.ru/attachments/vestnik_48_67.pdf
3. Аляев В. А., Аляев М. В. Сельское расселение как основа устойчивого развития Волгоградской области // Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ 2013. № 3.
4. Косенкова Ю. Л. Советский город 1940-х — первой половины 1950-х годов: от творческих поисков к практике строительства. М.: Либроком, 2009.
5. Птичникова Г. А. Становление линейной планировочной структуры города: Царицын — Сталинград — Волгоград в XIX—XX вв. // Архитектурное наследие. 2012. Вып. 57. С. 273—286.
6. Лавринова Т. И. Царицынская линия: история строительства в 1718—1720 и первые годы существования. Волгоград: Издатель, 2012. 95 с.
7. Олейников П. П. Архитектурное наследие Сталинграда. Волгоград: Издатель, 2012. 560 с.

8. *Пронштейн А. П.* Земля донская в XVIII веке. Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ун-та, 1961.
9. *Логинов А. Н.* Поселения донских казаков в XVI—XIX веках. Волгоград: Издатель, 2004. 45 с.
10. *Глазычев В. Л.* Город без границ. М.: Территория будущего, 2011. 400 с.
11. Концепция устойчивого градостроительного развития г. Волгограда до 2010 года / А. В. Антюфеев, Г. А. Птичникова, В. А. Аляев, В. Ф. Сидоренко, А. Л. Стризов, Э. Н. Сохина, С. В. Алексиков, Н. А. Самуленкова; под ред. А. В. Антюфеева. Волгоград: ВолгГАСА, 1999.
12. *Кулешова Г. И.* Территории опережающего развития научно-образовательного назначения как один из инструментов формирования градостроительных условий обеспечения эффективности инновационного развития. Особенности и проблемы // Градостроительство. 2015. № 4(38).
13. Города России: энциклопедия / Под ред. Г. М. Лаппо. М.: Большая Российская энциклопедия, 2008. 559 с.

© Ястребова Н. А., 2018

*Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Ястребова Н. А. Особенности расселения и перспективы развития исторических городских поселений Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 221—230.

Об авторе:

Ястребова Наталья Александровна — канд. архит., доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, yas_na71@mail.ru

N. A. Yastrebova

PECULIARITIES OF DISPLACEMENT AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HISTORICAL URBAN SETTLEMENTS IN VOLGOGRAD OBLAST

The article deals with the process of transforming the historical forms of settlement within the boundaries of modern Volgograd oblast beginning with the pre-industrial period (XVI century — the beginning of XX century), the first decades of the XX century till modern time. The article touches upon the complex problem of finding ways to develop historical urban settlements in the spatial system of regional displacement, as well as the issues of self-identity of administrative urban subjects. The article analyzes design methods as one of the means of planning and development of historical urban settlements.

Key words: urbanization, settlement, agglomeration.

For citation:

Yastrebova N. A. [Peculiarities of displacement and prospects of development of historical urban settlements in Volgograd oblast]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 221—230.

About author:

Yastrebova Natal'ya Aleksandrovna — Candidate of Architecture, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, yas_na71@mail.ru

УДК 338.45:69

С. Ю. Калашников, Д. А. Токарев

Волгоградский государственный технический университет

ОБ ОДНОМ АСПЕКТЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОБОБЩЕННОГО ЖИЛОГО ОБЪЕКТА НЕДВИЖИМОСТИ

Рассмотрен вопрос определения целесообразных размеров и формы отдельно стоящего обобщенного объекта жилой недвижимости. В качестве целевой функции выбрана теплопотеря через суммарную площадь поверхности здания, а в качестве параметров оптимизации — геометрические размеры в плане.

Ключевые слова: жилой объект недвижимости, объемно-планировочное решение, теплопотери, оптимизация, золотое сечение.

На эксплуатационном этапе жизненного цикла объекта недвижимости собственник сталкивается с существенными затратами на владение и содержание здания. Кроме стоимости объекта, налогового бремени и затрат на поддержание в исправном состоянии конструкций, элементов и инженерных систем, большое значение имеют коммунальные платежи за потребленные ресурсы. В том случае, если объект представляет собой индивидуальный жилой дом, вся тяжесть платежей падает на собственника [1]. В связи с этим возникает оправданное стремление к оптимизации затрат, которое может быть реализовано по разным направлениям: использование более доступных материалов с целью снижения кадастровой стоимости здания и, соответственно, налоговой нагрузки; использование более простых инженерных систем, элементов и материалов, обеспечивающих более длительные сроки исправного состояния; использование аппаратного обеспечения управления рациональным потреблением коммунальных ресурсов и ряд других.

Первые два направления, уменьшая затраты, снижают не только качество самого объекта, но и качество жизни собственника как результат использования здания. Третье направление, наоборот, обеспечивает комфортное пользование объектом и, снижая текущие затраты, увеличивает начальную стоимость здания. Из приведенных соображений очевидно, что задача оптимального планирования затрат на объект недвижимости является многофакторной. Выбор наилучшего варианта связан с решением оптимизационной задачи, часто встречающейся в математике, технике и экономике. Необходимо задать критерий оптимальности и граничные условия для математической формализации задачи. Дифференцирование по типу известного решения на экстремум приводит к единственности решения, что типично для однофакторных систем и процессов.

В этой связи представляется интересным несколько иначе взглянуть на оптимизацию затрат на строительство и эксплуатацию малоэтажного жилого дома. При всем многообразии объемно-планировочных решений, архитектурных стилей, особенностей формообразования и иных стилевых и конструктивных особенностей конкретных зданий [2, 3] в качестве отдельной геометрической фигуры для дома наиболее подходят куб и параллелепипед. Шар, конус

и цилиндр могут рассматриваться как основа формообразования отдельного здания лишь в специальных или экзотических случаях.

С другой стороны, наиболее дорогостоящим из потребляемых ресурсов является тепло (точнее, затраты на отопление). Практически все модели теплопроводности построены на основе соотношений рациональной термодинамики и сводятся к построению дифференциальных уравнений различного типа. В конкретном здании потери тепла через стены составляют 30 %, через окна — 10 %, двери — 15 %, крышу — 15 %. Контакт фундамента с мерзлым грунтом добавляет еще 10 %, а через дымоходы и вентиляцию «улетает» 20 %. Разумеется, это оценочные приблизительные цифры, все зависит от конструкций здания, использованных строительных материалов, инженерных решений системы отопления и системы воздухообмена [4]. Регулируется процесс теплопотерь на этапе проектирования на уровне нормативного документа СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»¹², устанавливающего в качестве важнейшего параметра теплосбережение.

Объединяя два вышеобозначенных соображения, сформулируем задачу следующим образом: здание каких размеров рациональнее эксплуатировать с точки зрения одинаковых потерь тепла в отдельно стоящих домах в форме куба и параллелепипеда?

Абстрагируясь от конкретных конструктивных и объемно-планировочных решений, рассмотрим два условных обобщенных объекта недвижимости (рис. 1).

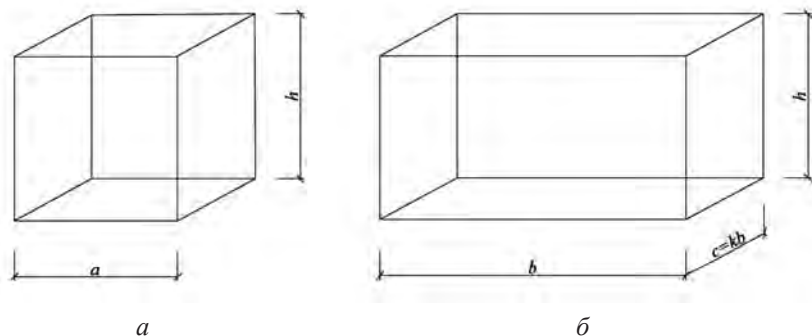


Рис. 1. Условные объекты недвижимости: а — куб; б — прямоугольный параллелепипед

Согласно практическим расчетам теплопотерь индивидуального дома, тепла через стены обычно «улетучивается» больше, чем через пол, крышу, окна и двери. Поэтому для простоты будем считать, что теплопотери через все ограждающие конструкции (стены, кровлю, пол) одинаковы, причем одинаковы в каждой точке [5]. В действительности сопротивление теплопередачи

$$R = \frac{\Delta t}{q} \left[- \frac{c^\circ \text{м}^2}{\text{Вт}} \right] \quad (1)$$

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М., 2012. 95 с.

² СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2004. 186 с.

показывает, какое количество тепла теряется через один квадратный метр конструкции при заданной разности температур. При этом q представляет собой характеристику, связанную с физическими свойствами конструкции. Это удельное количество тепла, уходящего через квадратный метр поверхности площади, Вт/м²:

$$q = f(\delta, \alpha, \Delta t), \quad (2)$$

которое есть функция, соответственно, толщины ограждающей конструкции δ , коэффициента теплопередачи α и разности температур Δt снаружи и внутри помещений. Общее количество теряемого тепла тогда определяется через площадь всех наружных поверхностей S :

$$Q = -qS. \quad (3)$$

Внутренние стены, перегородки, межэтажные перекрытия и лестничные марши в расчетах теплопотерь не участвуют, так как температуру во всех помещениях принимаем одинаковой. Также предположим, что потери тепла одинаковы в обоих зданиях, т. е. $Q_1 = Q_2$, при этом их тепловой режим и ограждающие конструкции также имеют одинаковые характеристики. Тогда

$$qS_1 = qS_2, \quad (4)$$

откуда следует равенство суммы всех поверхностей обоих зданий:

$$2a(2h + a) = 2b[h(1 + k) + bk]. \quad (5)$$

В (5) коэффициент сжатия прямоугольника $k < 1$. Введем дополнительный коэффициент вытянутости $\mu > 1$, который характеризует соотношение квадрата и прямоугольника по длинной стороне:

$$b = \mu a. \quad (6)$$

Тогда

$$c = k\mu a, \quad (7)$$

и (5) преобразуется в квадратное уравнение относительно μ :

$$ak\mu^2 + [h(1 + k)]\mu - (2h + a) = 0, \quad (8)$$

имеющее единственное решение (корень μ_2 отрицателен и не имеет физического смысла):

$$\mu_{1,2} = \frac{h}{2ak} \left[-(1 + k) \pm \sqrt{(1 + k)^2 + (2h + a) \frac{4ak}{h^2}} \right]. \quad (9)$$

Уравнение (8) и решение (9) следует трактовать следующим образом: любым двум зданиям в форме куба и параллелепипеда будет отвечать единственное значение соотношения размеров сторон квадрата и прямоугольника в плане, при котором теплопотери будут одинаковы.

Соотношение (5) можно преобразовать в иное квадратное уравнение:

$$kb^2 + h(1 + k)b - (2ah + a^2) = 0, \quad (10)$$

имеющее также единственное решение (корень b_2 отрицателен и не имеет физического смысла):

$$b_{1,2} = \frac{h}{2k} \left[-(1+k) \pm \sqrt{(1+k)^2 + (2h+a) \frac{4ak}{h^2}} \right]. \quad (11)$$

Трактовка уравнения (10) и решения (11) не отличается от предыдущей, в чем легко убедиться, сопоставляя (11) и (9) со следованием из этого соотношения (6).

Примем для простоты модульные значения размеров квадрата стороны дома 6, 7, 2 и 9 м при высоте этажа 3 м и вычислим соотношение размеров для одно-, двух- и трехэтажного дома. Результаты вычислений приведены графически на рис. 2 и 3.

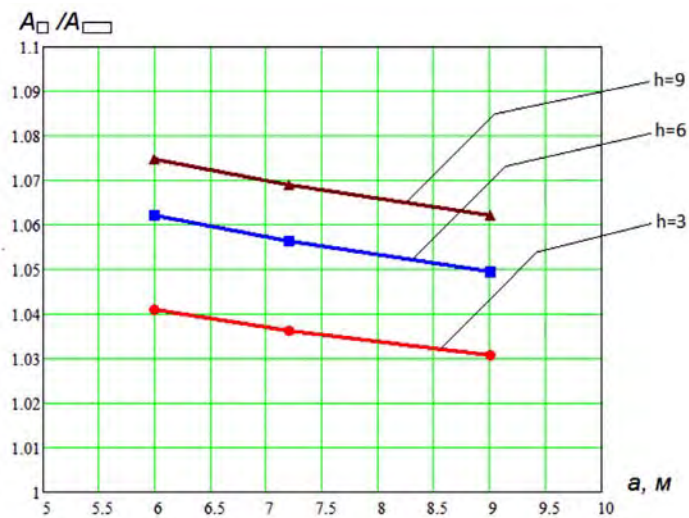


Рис. 2. Изменение площади A застройки зданий разной этажности



Рис. 3. Изменение вытянутости прямоугольника для зданий разной этажности

Их следует истолковывать следующим образом: для того чтобы потери тепла в доме в форме параллелепипеда были такими же, как в кубе, размер длинной стороны должен быть на 35...40 % больше, чем сторона квадрата. При этом площадь застройки будет на 3...8 % меньше. Этот параметр имеет немало-важное значение, так как нормы площади участков регулируются нормативным документом СП 30-102-99 «Планировка и застройка территорий малоэтажного жилищного строительства»³. Пункт 5.2 устанавливает, что основной тип дома в индивидуальном строительстве — многоквартирный, но могут быть блокированные, в том числе двухквартирные, с приквартирными участками. При этом в крупных городах площади участков должны составлять соответственно 450 м² или 250 м², в малых и средних городах и пригородах — 500...600 м² и 350...400 м² соответственно, а в сельских поселениях — 700...1000 м² [6]. Очевидно, что при увеличении высоты здания вытянутость параллелепипеда и выигрыш площади застройки по сравнению с кубом уменьшаются.

Так как в качестве целевой выбрана функция потери тепла, а существенными параметрами — геометрические размеры объекта, то интересен результат реализации оптимизационной задачи по параметру, в частности для задачи о минимизации потери тепла объекта в форме куба:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \left[-\alpha \frac{\Delta t}{\delta} (4ah + 2a^2) \right] = 0, \quad (12)$$

откуда $a = h$, что не является неожиданным.

Для параллелепипеда:

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = \frac{\partial}{\partial a} \left[-\alpha \frac{\Delta t}{\delta} (2bh(1+k) + 2b^2k) \right] = 0, \quad (13)$$

откуда следует зависимость

$$b = \frac{h}{2k} (1+k), \quad (14)$$

графики которой в виде иллюстративных номограмм приведены на рис. 4.

Ими удобно воспользоваться для определения рациональных размеров здания в плане. Например, если длинная сторона дома в плане будет задана размером 9,6 м для двухэтажного дома высотой 6 м, коэффициент оказывается равным $k \approx 0,42$, откуда следует $c \approx 4,0$ м (пунктирные стрелки), что дает площадь застройки $A \approx 38,7$ м² и определяет общую площадь квартиры ≈ 75 м². Решение обратной задачи показано штрих пунктирными стрелками.

Выражение (14) можно представить иначе (графики приведены на рис. 5):

$$h = b \frac{2k}{1+k}. \quad (15)$$

Из анализа результатов следует очевидный вывод о том, что одноэтажные здания в форме параллелепипеда, имея большую площадь застройки, интенсивнее теряют тепло, чем здания большей этажности, но с меньшей площадью застройки.

³ СП 30-102-99. Планировка и застройка территорий малоэтажного жилищного строительства. М., 2000. 10 с.

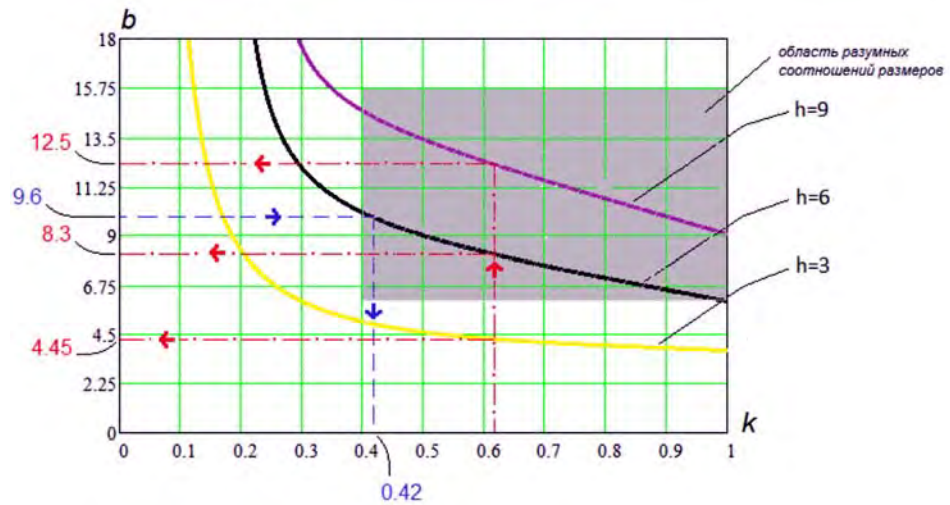


Рис. 4. Геометрические параметры в плане для минимизации теплопотерь в зданиях разной этажности

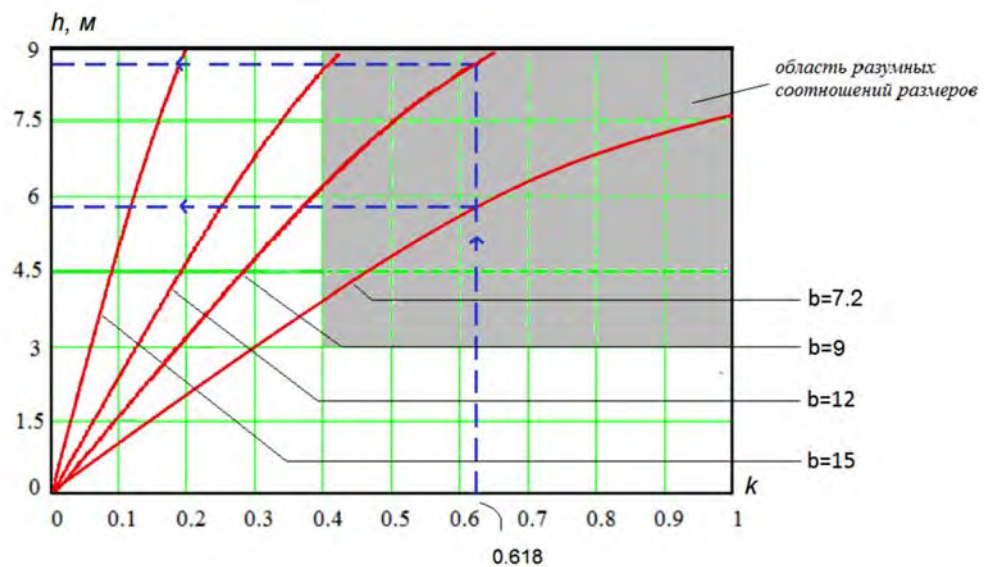


Рис. 5. Геометрические параметры по высоте для минимизации теплопотерь в зданиях различных размеров в плане

Существующее в изобразительном искусстве и архитектуре правило золотого сечения [6] представляет собой универсальное средство структурной гармонии и численно выражается соотношением $\approx 1,618$ (т. е. пропорцией 62 % на 38 % или применительно к сжатию прямоугольника $k = 0,618$). Небезосновательно предполагать, что использование такого соотношения при создании формы позволяет сделать ее максимально красивой и наиболее гармоничной для зрительного восприятия человеком [7]. При стандартной ширине здания в 6 м, золотое сечение дает $b = 6 \times 1,618 = 9,72$ м. Этот размер в плане 6 $\times$ 9 м или

6 × 10 м представляет собой наиболее часто встречающееся в регионе соотношение размеров индивидуальных домов. По всей видимости, это есть практическое проявление интуитивного чувства структурной гармонии.

В рекомендациях регламента для малоэтажного строительства⁴ приложение А устанавливает, что нынешний предел площади квартир следует исчислять из нормы 18 м² на человека. Например, трехкомнатная квартира рекомендуется площадью 65 м², что дает при золотом сечении равенство

$$0,618 \times b \times b = 65, \quad (16)$$

откуда $b = 10,25$ м, $a = 6,33$ м при одноэтажном строительстве, что близко к предыдущему соображению ($\approx 6 \times 10$ м).

В заключение отметим, что ранее полученное нами из анализа минимизации теплотерьер соотношения размеров составляет $a = 6$ м, $b = 9,6$ м (т. е. опять же $\approx 6 \times 10$ м).

Выводы:

1. Наиболее часто встречающиеся в малоэтажной застройке здания в форме прямоугольного параллелепипеда при одинаковых теплотерьях по сравнению с кубической формой имеют выигрыш в меньшей площади застройки.
2. Условие минимизации теплотерьер по геометрическим параметрам приводит к соотношению размеров в плане, близких к золотому сечению.
3. Наиболее часто встречающиеся в практике размеры отдельных зданий в плане вполне удовлетворительно согласуются как с соображениями структурной гармонии, так и с положениями требований нормативных документов по тепловой защите и объемно-планировочным решениям, что свидетельствует о бесценном историческом опыте, накопленном поколениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голованова Л. А. Основные аспекты территориального энергосбережения: учеб. пособие для строит. спец. вузов. Хабаровск: Изд-во Хабаров. гос. техн. ун-та, 2002. 115 с.
2. Сысоева Е. В. Архитектурные конструкции малоэтажных зданий. М.: Архитектура-С, 2012. 144 с.
3. Гололобов В. Н. «Умный дом» своими руками. М.: НТ Пресс, 2007. 416 с.
4. Шилина М. Н. Модернизация жилищного фонда с использованием энергосервиса // Энергосбережение. 2014. № 5. С. 36—39.
5. Активное сбережение для пассивных зданий / Т. Ахмяров, В. Беляев, А. Спиридонов, И. Шубин // Энергоэффективность и энергосбережение. 2013. № 7—8. С. 73—79.
6. Сысоева Е. В., Трушин С. И., Коновалов В. П. Архитектурные конструкции и теория конструирования: малоэтажные жилые здания: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2016. 280 с.
7. Daniels K. The Technology of Ecological Building, Birkhauser-Verlag fur Architektur. Basel, 1997.

© Калашников С. Ю., Токарев Д. А., 2018

Поступила в редакцию
в ноябре 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Калашников С. Ю., Токарев Д. А. Об одном аспекте эксплуатационной целесообразности обобщенного жилого объекта недвижимости // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 231—238.

⁴ Там же.

Об авторах:

Калашников Сергей Юрьевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, kalashnikov@vstu.ru

Токарев Дмитрий Анатольевич — магистрант кафедры экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, tokarevd94@mail.ru

S. Yu. Kalashnikov, D. A. Tokarev

TOWARDS AN ASPECT OF OPERATIONAL EXPEDIENCY OF A COMPLEX REAL ESTATE OBJECT

The issue of determination of the expedient sizes and form of a separate complex real estate object is considered in the article. Heat loss through the total area of the surface of the building is chosen as the criterion function, and geometrical sizes in the plan — as optimization parameters.

Key words: real estate object, space-planning decision, heat loss, optimization, golden ratio.

For citation:

Kalashnikov S. Yu., Tokarev D. A. [Towards an aspect of operational expediency of a complex real estate object]. *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], 2018, iss. 51(70), pp. 231—238.

About authors:

Kalashnikov Sergei Yur'evich — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Examination and Management of Real Estate Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, kalashnikov@vstu.ru

Tokarev Dmitrii Anatol'evich — Master's Degree student of Examination and Management of Real Estate Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, tokarevd94@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.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

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.

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: *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 — от 10 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. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *в переводе на английский язык*, записи на других языках просто повторяются.

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/publishing/journals/> (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, ком. Б-314а. (8442)-96-98-65. E-mail: sk0522@yandex.com (ответственный секретарь журнала Калиновский Сергей Андреевич).

Уточнить **условия публикации статей и приобретения** очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-65 у ответственного секретаря редсовета журнала **Калиновского Сергея Андреевича**.

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: mariaapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
выходит в одной серии

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» **85343**,
на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — **E85343**
(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-65 к отв. секретарю редсовета *С. А. Калиновскому*

Продолжается прием статей в очередные выпуски
электронного сетевого научно-технического журнала **«ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолГАСУ»**.
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от**
17.11.06, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информре-
гистр», свидетельство № **594 от 20.10.11**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация на сайте журнала <http://vgasu.ru/publishing/journals/>

«Интернет-вестник ВолГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

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 **E 29507**.
Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от**
17.11.06, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ВолГАСУ 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
2018. Вып. 51(70)

Редактор *Н. Э. Ситникова*
Перевод на английский язык *О. Ю. Юшко*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Подписано в печать 20.03.2018. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 10,4. Усл. печ. л. 21. Тираж 500 экз. Заказ № 34

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1