

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Вып. 2(75)**      **Серия: Строительство и архитектура**  
Научно-теоретический и производственно-практический журнал      **2019**

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

Выходит 4 раза в год  
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГТУ

**С о д е р ж а н и е**

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

- Богомолова О. А., Назарова К. А., Шумбутов А. Д.** Особенности производства и погружения шпунтовых свай из композитного материала 5
- Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Каныгин В. А.** Реологические свойства сарматских глин с нарушенной структурой 11
- Саинов М. П.** Методика моделирования нелинейного деформирования грунтов плотины 20
- Субботин А. И., ШUTOва М. Н., Шагина А. И.** Анализ специфики использования композитного армирования в фундаментах возводимых и реконструируемых зданий 37

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Игнатъев А. В., Бочков М. И., Иванов С. Ю.** Методика расчета балок с односторонними связями на действие подвижной нагрузки с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода 49

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б.** Оценка пожаробезопасности покрытий на основе золь-силикатной краски для отделки металлических строительных изделий и конструкций 58
- Положнов А. В., Михалькова А. П.** Анализ разработок по созданию высококачественных цементных бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области 65
- Положнов А. В., Михалькова А. П.** Методологические подходы к формированию цементных бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области 72

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

- Деевтов М. М., Поляков А. М., Столетов Е. В.** Формирование современных требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований на основе исследования эволюции системы водитель — автомобиль — дорога — среда 80

<i>Лескин А. И., Катасонов М. В., Гофман Д. И.</i> Методика моделирования проезда искусственных дорожных неровностей проезжей части с учетом динамических факторов	92
<i>Лучинский Д. П., Тимоховец В. Д., Санников С. П., Мармур А. В.</i> Модернизация конструкции технического тротуара для расширения сфер его применения	101
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
<i>Медведева О. Н., Бессонова Н. С.</i> Методика оценки тепловой эффективности газоиспользующих аппаратов	108
<i>Осипова Н. Н., Бычкова И. М.</i> Повышение надежности автономных систем газоснабжения индивидуальных жилых зданий	121
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
<i>Герашенко А. А., Сахарова А. А., Ханова Е. Л., Коробков В. А., Волкова А. С.</i> Разработка замкнутой системы водоснабжения на предприятии текстильной промышленности	131
<i>Игнаткина Д. О., Москвичева А. В., Коробков В. А., Щербakov А. В., Олефиренко Л. В.</i> Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии	140
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
<i>Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М.</i> Повышение надежности гидропривода строительного-дорожных машин	149
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
<i>Пушенко С. Л., Углова Е. В., Стасева Е. В., Турянская Е. И., Стасев А. И.</i> Анализ риска влияния условий и безопасности труда в дорожном строительстве на основе материалов специальной оценки	162
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА	
<i>Глинянова И. Ю.</i> Экологическая безопасность городской агломерации с позиции фитомониторинга	171
<i>Мишуева А. О., Сысоева Е. В.</i> Проектирование гостиниц с «зелеными кровлями» как один из путей реализации концепции биосферосовместимых городов на примере Москвы	182
<i>Поляков В. Г., Чебанова С. А., Дубовская Е. А., Лаврентьева Л. М.</i> Особенности строительной деятельности в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий	190
<i>Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Косицына Э. С.</i> Оценка нарушенных территорий крупнейших городов (на примере города Волгограда)	198
<i>Рашевский Н. М., Санжапов Б. Х., Синецын А. А., Барихашвили В. Р.</i> Поддержка принятия решений при мониторинге качества атмосферного воздуха на селитебной территории	206
<i>Сахарова А. А.</i> Исследование особенностей органогенных минералов как источника пылевого загрязнения воздушной среды	215
<i>Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П.</i> Использование ветродвигателей для энергообеспечения экологически чистых «зеленых крыш»	224
<i>Тимофеев А. Г., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Гиззатова Г. Л., Доскина Э. П., Гринев И. О.</i> Метод утилизации отходов при производстве присадок	231
<i>Чурикова В. И., Голованчиков А. Б., Чичерина Г. В.</i> Учет экологического воздействия сероводорода на объекты городского хозяйства	239
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА	
<i>Етеревская И. Н., Петрова Л. С.</i> Совершенствование структуры городских общественных пространств с использованием метода «ментальных карт»	244
<i>Красильникова Э. Э., Ганжа О. А., Абдрашитова Н. А.</i> Музеефикация городских территорий как фактор градостроительного развития (на примере Волгограда)	254
<i>Орозалиев М. Д., Шевчук И. В., Антонова Н. Н., Сасова Е. А., Соколов И. И.</i> Природные памятники как один из элементов формирования ландшафтно-рекреационных территорий	263
<i>Чернявская Т. А., Лиманская Т. Н.</i> Оценка перспектив использования ландшафтно-исторического потенциала территории Центрального парка г. Волгограда	271
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ	
<i>Долганова С. А., Карпенко А. Г.</i> Формирование творческого мышления студентов в современной системе профессиональной подготовки архитекторов	278
<i>От редколлегии</i>	287

## Content

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

- Bogomolova O. A., Nazarova K. A., Shumbutov A. D.** Features of production and dipping of sheet piles from composite material 5
- Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Kanygin V. A.** Rheological properties of sarmatian clays with broken structure 11
- Sainov M. P.** Methodology of modeling non-linear deformation of dam soils 20
- Subbotin A. I., Shutova M. N., Shagina A. I.** Analysis of specifics of composite reinforcing use in the foundation of built and reconstructed buildings 37

### STRUCTURAL MECHANICS

- Ignat'ev A. V., Bochkov M. I., Ivanov S. Yu.** The method of calculation of beams with unilateral constraints the action of moving loads using FEM in the form of classical mixed method 49

### BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

- Loganina V. I., Kislitsyna S. N., Mazhitov E. B.** Evaluation of fire safety coatings on the basis of sol-silicate paint finishes for metal building products and structures 58
- Polozhnov A. V., Mihal'kova A. P.** High-quality cement concrete with use of technogenic waste of the enterprises of the Volgograd region 65
- Polozhnov A. V., Mihal'kova A. P.** Methodology of formation of cement concrete with use of technogenic waste of the enterprises of the Volgograd region 72

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

- Devyatov M. M., Polyakov A. M., Stoletov E. V.** The formation of the modern requirements transport infrastructure rural municipalities based on the study of the evolution of the system the driver — vehicle — road — environment 80
- Leskin A. I., Katasonov M. V., Gofman D. I.** The method for simulating the passage of speed bumps of the roadway with consideration of dynamic factors 92
- Luchinsky D. P., Timokhovets V. D., Sannikov S. P., Marmur A. V.** Additional opportunities for the application of technology paste 101

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

- Medvedeva O. N., Bessonova N. S.** Methodology for the estimation of the heat efficiency of gas-used apparatus 108
- Osipova N. N., Bychkova I. M.** Increase reliability of autonomous systems gas supply of individual residential buildings 121

### WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

- Gerashchenko A. A., Sakharova A. A., Khanova E. L., Korobkov V. A., Volkova A. S.** Development of a closed water supply system at the enterprise of the textile industry 131
- Ignatkina D. O., Moskvicheva A. V., Korobkov V. A., Shcherbakov A. V., Olifirenko L. V.** Some features of the electrochemical treatment of wastewater of food industry 140

### TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

- Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Fetisov Yu. M.** Improving the reliability of the hydraulic drive of construction and road machines 149

### LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

- Pushenko S. L., Uglova E. V., Staseva E. V., Turyanskaya E. I., Stasev A. I.** Risk analysis of influence of conditions and safety of work in road construction on the basis of materials of special assessment 162

### ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Glinyanova I. Yu.** Ecological safety of urban agglomeration from the point of view of phytomonitoring 171
- Mishueva A. O., Sysoeva E. V.** Design of hotels with "green roofs" as one of the ways of implementing the concept of biosphere compatible cities through the example of Moscow 182

---

<b>Polyakov V. G., Chebanova S. A., Dubovskaya E. A., Lavrent'eva L. M.</b> Features of construction activity in sanitary-protective zones of industrial enterprises	190
<b>Prokopenko V. V., Ganzha O. A., Kositsyna E. S.</b> Assessment of the disturbed territories of the largest cities (on the example of the city of Volgograd)	198
<b>Rashevskii N. M., Sanzhapov B. Kh., Sinitsyn A. A., Barikhashvili V. R.</b> Supporting decision making for monitoring the quality of atmospheric air at residential territory	206
<b>Sakharova A. A.</b> Study characteristics of organic minerals as a source of dust air pollution	215
<b>Strekalov S. D., Strekalova L. P.</b> Use of wind-drives for energy environmental pure "green roofs"	224
<b>Timofeev A. G., Sidyakin P. A., Shchitov D. V., Gizzatova G. L., Doskina E. P., Grinev I. O.</b> Recycling method by production of additives	231
<b>Churikova V. I., Golovanchikov A. B., Chicherina G. V.</b> Addressing the environmental impact of the hydrogen sulfide municipal facilities	239
 URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT	
<b>Eterevskaya I. N., Petrova L. S.</b> Elaboration of the structure of urban public spaces with the use of method of "mental maps"	244
<b>Krasilnikova E. E., Ganzha O. A., Abdrashitova N. A.</b> Museumification of urban areas as a factor of urban development (on the example of Volgograd)	254
<b>Orozaliev M. J., Shevchuk I. V., Antonova N. N., Sasova E. A., Sokolov I. I.</b> Natural monuments as one of the indicators of the formation of the landscape-recreational territories	263
<b>Chernyavskaya T. A., Limanskaya T. N.</b> Assessment of prospects of using the landscape and historical potential of the territory of the Central park of Volgograd	271
 ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE	
<b>Dolganova S. A., Karpenko A. G.</b> Formation of creative thinking of students in the modern system of professional training of architects	278

УДК 624.152.634.3

**О. А. Богомолова<sup>а</sup>, К. А. Назарова<sup>б</sup>, А. Д. Шумбутов<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Московский государственный строительный университет*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОГРУЖЕНИЯ ШПУНТОВЫХ СВАЙ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА**

На основании результатов анализа документации и научной литературы рассматриваются особенности производства и погружения шпунтов из полимерных композитов, выявляются проблемы технологического регулирования в области контроля производства композитного шпунта в РФ.

Приводится сравнительный анализ материалов изготовления, их физико-механические показатели. Делается вывод об эффективности использования полимерных шпунтов, обозначаются перспективные направления применения полимерных композитных шпунтов.

**Ключевые слова:** композитные шпунтовые сваи, фундаменты, полимерный композит, укрепления грунта, пултрузия, намотка, вакуумная инфузия, подмыв, подкоп, вдавливание.

Известно, что использование шпунта Ларсена из металла и железобетонных свай в качестве решения проблем берегоукрепления и защиты грунта от смещения и подмыва является довольно эффективным технологическим решением [1]. Однако всю прелесть картины портит тот факт, что срок эксплуатации у этих конструкций довольно недолог, порядка 50—70 лет. На протяжении долгого времени данная проблема вставала очень остро перед инженерами.

Для решения этой проблемы был придуман и реализован композитный полимерный шпунт с неограниченным сроком эксплуатации как один из наиболее перспективных видов конструкции оснований и фундаментов [2]. При помощи данного конструкционного материала можно решить ряд проблем: укрепление откосов, берегов от подмыва и размыва водой, защита от эрозии грунтов, для регулирования русла рек, для защиты мест, в которых уровень воды изменяется в зависимости от времени года и т. д. [3]

Одними из главных положительных качеств являются устойчивость к коррозии и внезапному перепаду температур (рабочий интервал температур от –90 до +150 °С), легкость, простота транспортировки до места строительства, прочность на статические и динамические нагрузки, стойкость к агрессивным средам. Отсутствие необходимости в дополнительной защите поверхности также является достоинством данного конструкционного изделия [4, 5].

Однако существует проблема, которая не позволяет в полной мере перейти на композитные шпунты в России: неразвитая нормативно-техническая документация в области контроля и нормирования за производством, вследствие чего малый объем производства и достаточно высокая цена на рынке.

Полимерный композитный шпунт (ПКШ) — это такая конструкция, которая позволяет выдерживать большие значения бокового давления от грунта, а также воспринимает нагрузки от вышележащих сооружений и транспортных

средств [2]. По своему внешнему исполнению сваи имеют поперечное сечение круглой, корытной и z-образной формы, состоящей из двух или более материалов. Чаще всего эти материалы отличаются друг от друга по физико-химическим свойствам и форме, но объединяются между собой прочной связью с обязательной границей раздела между матрицей и армирующим наполнителем. Необходимым условием для обеспечения всех необходимых функциональных свойств композитного шпунта является образование матрицей и наполнителем единой структуры, которая действует совместно.

Ключевым материалом ПКШ является матрица, твердая структура, которая обеспечивает цельность полимерного шпунта, отвечающая за передачу и распределение напряжений в армирующем наполнителе. Как правило, при изготовлении шпунтов в качестве матрицы используют термореактивные полимеры. В качестве армирующего наполнителя, улучшающего физико-механические качества композита, применяются непрерывные волокна: стеклянные, базальтовые, углеродные или их сочетания. Содержание армирующего наполнителя в композитных шпунтах должно быть не менее 30 % от общего объема.

В ходе исследования было произведено сравнение и анализ физико-механических показателей металла и полимерного композита. Для сравнения выбран металлический шпунт Ларсена Л5 как самый распространенный в данный момент элемент берегоукрепления, и приведены его прочностные характеристики, составлена табл. 1 [6].

Таблица 1

*Сравнительная таблица анализа физико-механических показателей материалов*

Наименование показателя	Полимерный композит	Металл
1	2	3
Предел прочности при растяжении, МПа, не менее	520	470
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	220	195
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	520	470
Предел прочности при сдвиге, МПа, не менее	40	85
Подверженность к коррозии	Нет, не требуется защита	Да, требуется дополнительная защита

Из данной таблицы следует, что полимерные изделия не только не уступают в показателях перед металлом, но и имеют существенные преимущества, такие как предел прочности на сжатие и стойкость к коррозии.

Для улучшения свойств и удешевления конструкции возможно введение ряда дополнительных веществ, не являющихся наполнителями армирования (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

*Разновидности наполнителей в полимерных композиционных шпунтах*

Группа наполнителя	Разновидности	Влияние на материал
1	2	3
Дисперсные	<i>Минеральные:</i> мел, каолин, тальк	Уменьшение усадки, остаточных напряжений и способности к растрескиванию [6]
	Полевой шпат, нефелин	Обеспечивают низкую вязкость и высокую теплопроводность
	Молотая слюда	Повышает прочность, огнестойкость, диэлектрические свойства и химическую стойкость [7]
	<b>Шунгит</b>	<b>Снижает радиопрозрачность</b>
	Полевой шпат, нефелин	Обеспечивают низкую вязкость и высокую теплопроводность
	Молотая слюда	Повышает прочность, огнестойкость, диэлектрические свойства и химическую стойкость [7]
	<i>Органические:</i> сажа и технический углерод	Светостабилизаторы, придающие электропроводящие свойства
	Графит	Уменьшает коэффициент трения
	<i>Полимерные:</i> Порошкообразные полимеры	Повышают химическую стойкость, способствуют улучшению износостойкости, коэффициента трения и диэлектрических характеристик [8]
	Резиновая крошка	При добавлении получают прочный и химически стойкий материал
Волокнистые	Хлопковые волокна, растительные волокна	Применяются для снижения стоимости, увеличения объема и снижения веса изделия [9]
	Металлические волокна	Придают магнитные свойства, тепло- и электропроводность
Специальные	Гальванический шлам	Пигмент улучшает биостойкость, прочностные и адгезионные характеристики
	Дисульфид молибдена (MoS <sub>2</sub> )	Для снижения коэффициентов трения и линейного расширения, повышения износостойкости [10]

Стоит заметить, что добавление в состав различных наполнителей, которые не являются армирующими, не должно влиять на прочностные характеристики шпунтов.

На данный момент шпунт-сваи можно получить тремя методами: пултрузия, намотка и метод вакуумной инфузии [11].

Пултрузия является технологией производства длинномерных профильных изделий путем протягивания композиции матрицы и армирующего на-

полнителя через формообразующее и консолидирующее устройство. Основоплагающим воздействием при данной технологии производства является тянущее усилие [7]. Пултрузионная технология нашла свое применение в производстве изделий, обладающих достаточной удельной прочностью и жесткостью к высоким внешним воздействиям.

Следует отметить, что при изготовлении шпунта методом пултрузии шпунтовой замок протягивается одновременно со шпунтом в едином технологическом процессе. У конструкций, изготовленных методом намотки или методом инфузии, замок изготавливается в виде отдельного изделия, который впоследствии соединяется прочным клеем.

Намотка является непрерывным процессом изготовления высокопрочных армированных изделий, форма которых определяется вращением производных образующих. При данном способе армирующий материал укладывается по заданной траектории на вращающуюся оправку, которая несет внутреннюю геометрию изделия [12].

После завершения намотки проводят отверждение связующего. Его осуществляют в термокамерах при соответствующей температуре.

Вакуумная инфузия — это технология изготовления композитного материала с использованием силы вакуумного давления для ввода смолы в армируемое слоистое волокно. Она может использоваться как для однократного литья, так и для серийного производства, но из-за необходимого времени на подготовку ее обычно используют для одной небольшой отливки в день [13].

Наиболее распространенными армирующими наполнителями, используемыми в вакуумной инфузии, являются комбинированные маты и тканые ровинги. При производстве большое внимание заслуживает герметизация вакуумного мешка, ведь образование по меньшей мере 1 % пор воздуха приводит к падению межслоевой прочности на 10 %.



Рис. 1. Схема вакуумной инфузии

Как известно, смола в полимеризованном состоянии сама по себе непрочная, в связи с этим большое количество лишнего материала в изделии ухудшает его физико-механические свойства, поэтому данный метод изготовления значительно улучшает соотношение волокно — смола, в результате чего получается более жесткое и легкое изделие [14].

На выбор способа погружения, без сомнения, влияют гидрогеологические условия.

Самым распространенным и технологически простым способом является метод динамического вдавливания в грунт с помощью вибромолотов, вдоль

предварительно установленных шаблонов. Преимуществом данного способа является то, что производство работ можно вести в зонах с ветхими зданиями, оползневых зонах, где ударное воздействие может привести к чрезвычайной ситуации [15]. Метод подкопа используется при строительстве подпорных стен на небольшую глубину, обычно в каменистых грунтах, когда нет возможности применить другие методы погружения. Метод подмыва используется при установке шпунта в плотных и твердых грунтах. Этот метод используется, прежде всего, для того, чтобы давлением воды, непосредственно под нижним уровнем профиля шпунта, ослабить и удалить твердый грунт [1, 3].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что композитные шпунты из полимерного материала — наиболее перспективная конструкция, применяемая для решения многих задач не только гидротехнического, но и транспортного, гражданского и промышленного строительства. Вследствие этого возникает необходимость развития и усовершенствования данного вида конструкций. Кроме того, немаловажной частью развития является создание и внедрение нормативно-технической документации для контроля качества и методов испытания на территории РФ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьянков С. А.* Свайные фундаменты : учеб. пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2007. 105 с. URL: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2007/70.pdf>
2. *Раскутин А. Е.* Стратегия развития полимерных композиционных материалов. Авиационные материалы и технологии 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-razvitiya-polimernyh-kompozitsionnyh-materialov>
3. *Коркина Н. В., Федоров В. В.* Шпунтовые ограждения и особенности их применения. 2015.
4. *Pohl G., Pflz M.* Textiles, Polymers and Composites for Buildings, 2010. URL: <https://b-ok.org/book/2337244/5e7b9c>
5. *Ерофеев В. Т.* Полимерные композиционные материалы : учеб. пособие. 2013. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939804.html>
6. *Кикоин И. К.* Таблицы физических величин. Справочник. 1976. 1008 с.
7. *Макухин А. Г., Сыровой Г. В.* Пултрузия, как технологический процесс изготовления изделий из композиционных материалов. 2016. URL: <http://ptsm.donntu.org/arhiv%20nambe/pdf%2052/099-106%20.pdf>
8. *Качарова И. Н.* Характеристики композиционных материалов. Справочник. Жуковский, 2015. URL: <https://www.twirpx.com/file/1586977/>
9. *Перепелкин К. Е.* Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. Монография (книга). 2009. URL: <https://www.twirpx.com/file/2346102/>
10. *Nicolais L., Borzacchello A., Lee S. M.* Wiley Encyclopedia of Composites. Part 1. 2012. Pp. 1—512. URL: <https://b-ok.org/book/3256002/e787a2>
11. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии : учеб. пособие / М. Л. Кербер и др. Санкт-Петербург : Профессия, 2008. 560 с.
12. *Карпович О. И.* Формообразование изделий из композиционных материалов. Минск : БГТУ, 2016. URL: [https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/14221/1/karpovich\\_formoobrazovanie-izdelii.pdf](https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/14221/1/karpovich_formoobrazovanie-izdelii.pdf)
13. *Osborne T.* Reinforced Plastics magazine. 2014. URL : <https://www.materialstoday.com/composite-processing/features/an-introduction-to-vacuum-infusion>
14. *Безруков А. Н.* Структура и химия полимеров : учеб. пособие. Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. 95 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/61809.html>
15. *Верстов В. В.* Технология устройства свайных фундаментов. Санкт-Петербург. 2010. URL: [https://www.spbgasu.ru/documents/docs\\_216.pdf](https://www.spbgasu.ru/documents/docs_216.pdf)

© Богомолова О. А., Назарова К. А., Шумбутов А. Д., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

*Богомолова О. А., Назарова К. А., Шумбутов А. Д.* Особенности производства и погружения шпунтовых свай из композитного материала // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 5—10.

*Об авторах:*

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

**Назарова Ксения Андреевна** — студент, кафедра железобетонных и каменных конструкций (ЖБК), Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Ksu\_NazarovA@mail.ru

**Шумбутов Александр Дмитриевич** — студент, кафедра железобетонных и каменных конструкций (ЖБК), Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, ashum7@mail.ru

**Oksana A. Bogomolova<sup>a</sup>, Kseniya A. Nazarova<sup>b</sup>, Alexander D. Shumbutov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Moscow State University of Civil Engineering*

## **FEATURES OF PRODUCTION AND DIPPING OF SHEET PILES FROM COMPOSITE MATERIAL**

Based on the results of the analysis of the documentation and scientific literature, the features of the production and immersion of grooves made of polymer composites are considered. The problems of technological regulation in the field of control of the production of composite tongue in the Russian Federation are identified.

A comparative analysis of the materials of manufacture, their physicomechanical indicators is given. The conclusion about the effectiveness of the use of polymer dowels is formulated, promising areas of application of polymer composite dowels are indicated.

**Key words:** composite sheet pile, foundations, polymer composite, soil strengthening, pultrusion, winding, vacuum infusion, washing, excavation, indentation.

*For citation:*

Bogomolova O. A., Nazarova K. A., Shumbutov A. D. [Features of production and dipping of sheet piles from composite material]. *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], 2019, iss. 2, pp. 5—10.

*About authors:*

**Oksana A. Bogomolova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Mathematics and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

**Kseniya A. Nazarova** — Student, Department of Reinforced Concrete and Stone Constructions (Reinforced Concrete), Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, Ksu\_NazarovA@mail.ru

**Alexander D. Shumbutov** — Student, Department of Reinforced Concrete and Stone Constructions (Reinforced Concrete), Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, ashum7@mail.ru

УДК 624.131.22

**Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский, В. А. Каныгин**

**Волгоградский государственный технический университет**

## **РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САРМАТСКИХ ГЛИН С НАРУШЕННОЙ СТРУКТУРОЙ**

Проанализированы показатели реологических свойств сарматских глин с нарушенной структурой из районов Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья. Все изученные образцы глин различных регионально-генетических типов характеризуются различным реологическим поведением: от структурно-вязких до пластичных. Наибольшей потенциальной способностью к образованию оползней течения, выдавливания и пучению в горных выработках и откосах обладают глины среднего сармата.

**Ключевые слова:** сарматские глины, реологические свойства, физико-механические свойства, ротационный вискозиметр, реологические кривые.

Реологические свойства грунтов проявляются в том случае, когда действие сил определенной величины вызывает в грунте возникновение протекающих во времени необратимых деформаций ползучести и течения. Так, лед и стекло при быстром приложении нагрузки деформируются упруго и хрупко разрушаются, а при медленном приложении нагрузки проявляются ползучесть и текучесть, как жидкости. Ползучесть скальных грунтов проявляется за многолетние промежутки времени. Для проявления ползучести глин требуются месяцы и годы. Фактор времени является одним из важнейших при рассмотрении самых различных задач о деформировании грунтов под нагрузкой. Этот фактор определяет закономерности развития осадки оснований, уплотнения земляных сооружений (насыпей, грунтовых плотин и пр.), смещения оползневых склонов и откосов и т. п.

Для описания процесса деформирования грунтов применяются феноменологический и физический подходы. При первом подходе описывается зависимость, полученная на основе опытов или натуральных наблюдений, не вскрывающая сущности процессов. Для решения реологических задач с помощью этих зависимостей устанавливается связь между напряжениями, деформациями и временем. При втором подходе делается попытка учета реальных процессов разрушения структуры грунта. Параметры реологических свойств грунтов различны при феноменологическом и физическом подходах.

Для определения реологических параметров грунтов в лабораторных условиях применяют различные методы: одноосное, трехосное сжатие, многоплоскостной сдвиг, «шариковая проба», ротационный вискозиметр и т. д. [1] Естественно, что методика исследования должна в наибольшей степени моделировать прогнозируемый реологический процесс и позволять определять свойства реальных грунтов в заданном диапазоне давлений и времени их действия. Наиболее известные методики определения реологических параметров грунтов разработаны С. С. Вяловым, Н. Н. Масловым, С. Р. Месчаном, М. Н. Гольдштейном [2]. Основными реологическими процессами являются ползучесть и длительная прочность.

Развитие деформаций во времени проявляется в виде ползучести и свойственно многим грунтам. Но особенно отчетливо проявляется при умеренных нагрузках в глинистых грунтах. Для сдвиговых деформаций оно проявляется в виде процесса ползучести, который при небольших напряжениях носит затухаю-

щий характер, а при больших — незатухающий, заканчивающийся вязким разрушением. Для объемных деформаций развитие этого процесса во времени проявляется в виде консолидации, обусловленной как сжатием поровой воды и уплотнением в результате перераспределения порового и эффективного давлений в грунте, так и уплотнением при минимальном поровом давлении вследствие медленных смещений структурных элементов грунта относительно друг друга; объемные деформации всегда имеют затухающий характер.

Прочность грунта как функция времени называется длительной прочностью. Для некоторых глин предел длительной прочности снижается до 30 % прочности при быстром загрузении (недренированное испытание). Для реализации прочности глинистых грунтов необходимо достижение определенной критической деформации сдвига.

Изучение реологических свойств пород ведется в двух направлениях. С одной стороны, изучается сдвиговая ползучесть, проявляющаяся в виде длительного смещения грунтовых массивов под действием сдвигающих нагрузок. Такие исследования связаны с необходимостью установления долговременной устойчивости напорных плотин, откосов и склонов, подпорных стенок и т. д. С другой стороны, изучается объемная ползучесть пород, проявляющаяся в виде медленно развивающихся под действием всестороннего давления объемных деформаций. Это явление служит причиной длительных осадок сооружений, построенных на глинистых и биогенных водонасыщенных грунтах [3].

Сарматские глины в краевых прогибах юга Русской платформы служат основанием инженерных сооружений на значительной территории Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья и часто являются причиной образования на склонах оползней. Глинистые породы сармата накапливались в Сарматском морском бассейне, восточная часть которого характеризовалась повышенной плотностью воды по сравнению с западной, где происходило разбавление речным стоком с Русской платформы. Вследствие этого на востоке сформировались глинистые породы с более высокой минерализацией порового раствора [4—6], чем на западе.

Различия в химическом составе поровых вод обусловили разную степень агрегатизации грунтовых частиц: на востоке — более высокую, чем на западе, что нашло свое отражение в существенном различии микроагрегатного состава глин обоих регионов при достаточно одинаковом их гранулометрическом составе. Последний свидетельствует об одной площади сноса терригенного материала — Русской платформы.

Постгенетические преобразования глинистых пород вследствие залегания их в различных по степени увлажнения климатических зонах совместно с разными условиями осадконакопления обусловили различия в показателях физических свойств глин обоих регионов: на восточном — это более влажные, менее плотные сильнопористые отложения, а на западе — наоборот (табл. 1) [7].

Все различия в составе и физических свойствах глин обоих регионов нашли свое отражение в набухаемости и прочности. Более засоленные глины Центрального Предкавказья, отличающиеся повышенной влажностью, набухают меньше, чем одновозрастные отложения из Северного Причерноморья. Давление набухания у первых в среднем на 1 порядок меньше, чем у вторых. Такая же закономерность имеет место и с прочностью, но различий в показателях прочности несколько меньше (табл. 2) [4].

Таблица 1

## Показатели физико-механических свойств сарматских глин Северного Причерноморья

Показатели	Статистические характеристики						
	Кол-во определенных, $N$	Пределы колебаний	Среднее $X$	Стандартное отклонение, $S$	Дисперсия $S^2$	Коэфф. вариации $V, \%$	Ошибка среднего арифмет. $\frac{S}{\sqrt{N}}$
Плотность $\rho, \text{г/см}^3$	631	1,70...2,13	2,00	0,071	0,0050	3,54	0,003
	48	1,83...2,12	2,03	0,058	0,0034	2,87	0,009
Естественная влажность $W, \%$	631	0,14...0,45	0,23	0,038	0,0014	16,37	0,002
	48	0,18...0,39	0,24	0,028	0,0008	11,65	0,004
Предел текучести $W_L$	631	0,35...0,77	0,48	0,072	0,0052	14,99	0,003
	48	0,38...0,83	0,55	0,085	0,0072	15,51	0,014
Предел раскатывания $W_p$	631	0,17...0,42	0,24	0,036	0,0013	14,84	0,80
	48	0,2...0,37	0,27	0,041	0,0071	15,13	0,006
Число пластичности $J_p$	631	0,18...0,42	0,24	0,043	0,0018	17,74	0,002
	48	0,18...0,51	0,28	0,055	0,003	19,59	0,009
Пористость $n, \%$	631	28,1...58,1	40,50	3,60	12,96	19,0	0,149
	48	33,8...51,6	40,2	2,826	7,986	7,03	0,453
Свободное набухание $\epsilon_{sw}$	321	0,21...0,32	0,33	0,083	0,007	45,31	0,015
	38	0,03...0,39	0,20	0,060	0,004	56,79	0,003
Давление набухания $P_{sw} \cdot 10^5 \text{ Па}$	28	1,25...5,00	4,21	2,689	7,231	63,93	0,573
	22	0,50...4,00	1,99	0,923	0,852	46,45	0,218
Удельное сцепление $c \cdot 10^5 \text{ Па}$	262	0,72...4,78	1,39	0,396	0,157	28,55	0,110
	18	0,28...4,0	1,34	0,540	0,290	40,55	0,030
Угол внутреннего трения $\phi, \text{град}$	262	0...32	9,4	7,894	62,315	83,66	2,189
	18	2...55	20,3	11,200	125,43	53,81	0,690

Примечание. В числителе — для глин среднего сармата, в знаменателе — для глин верхнего сармата.

Показатели физико-механических свойств сарматских глин Центрального Предкавказья

Показатели	Статистические характеристики						
	Кол-во определений, $N$	Пределы колебаний	Среднее $\bar{X}$	Стандартное отклонение, $S$	Дисперсия, $S^2$	Коэфф. вариации $V$ , %	Ошибка среднего арифмет. $\frac{S}{\sqrt{N}}$
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	103	1,23...2,34	1,74	0,062	0,0038	3,32	0,006
	23	1,36...2,17	1,89	0,052	0,0027	2,56	0,011
Естественная влажность $W$ , %	103	0,14...0,46	0,36	0,063	0,004	17,42	0,62
	23	0,21...0,37	0,33	0,052	0,0027	15,75	1,09
Предел текучести $W_L$	103	0,37...0,85	0,65	0,114	0,013	17,35	1,12
	22	0,41...0,86	0,67	0,110	0,012	16,26	2,33
Предел раскатывания $W_p$	103	0,11...0,57	0,35	0,078	0,006	21,76	0,77
	22	0,13...0,56	0,37	0,098	0,010	25,95	2,09
Число пластичности $J_p$	103	0,12...0,41	0,27	0,062	0,0038	22,58	0,61
	22	0,19...0,48	0,29	0,070	0,0049	23,41	1,48
Пористость $n$ , %	69	39,1...58,5	50,5	4,1	16,81	8,12	0,4
	22	40,3...53,8	48,5	3,71	13,76	7,66	0,79
Свободное набухание $\varepsilon_{sw}$	103	0,13...0,67	0,12	0,052	0,003	45,13	0,31
	22	0,02...0,32	0,26	0,036	0,001	41,2	0,51
Давление набухания $P_{sw} \cdot 10^5$ Па	103	0,03...6,75	0,36	0,31	0,004	238,46	0,02
	22	0,10...1,60	0,70	0,006	0,00004	8,57	0,0009
Удельное сцепление $c \cdot 10^5$ Па	6	0,06...0,65	0,25	0,54	0,29	2,16	1,02
Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	6	16...31,5	25,1	49,25	6,10	18,2	109,4

Примечание. В числителе — для глин среднего сармата, в знаменателе — для глин нижнего сармата.

В результате выветривания глинистые породы активно разрушаются и часто образуют плащевидные скопления бесструктурных пород на склонах. С ростом влажности и величины действующих напряжений в скопившихся массах возникают оползневые явления, которые часто можно наблюдать в природных условиях на склонах, сложенных сарматскими глинами. Исследование реологических свойств глинистых пород с нарушенной структурой позволяет прогнозировать их способность к образованию оползней при увлажнении.

Исследования сарматских глин обоих регионов осуществлялись в лаборатории на ротационном вискозиметре Воляровича (РВ-8) по методу установления измерения скорости деформации и эффективной вязкости, с ростом действующего напряжения сдвига на образцах нарушенного сложения (пастах), с максимальным размером агрегатов, равным 1 мм при влажности, соответствующей пределу текучести [5].

Для изученных глин были получены реологические кривые  $d\varepsilon|d\tau = f(P)$ , значения условного статистического предела текучести  $P_{K-1}$ , условно-динамического предела текучести  $P_{K-2}$  и предела прочности  $P_m$ . Кроме того, получены кривые изменения эффективной вязкости в зависимости от изменения напряжения сдвига  $\eta = f(P)$ , определены значения вязкости близ условного предела текучести  $\eta_{P_{K-1}}$  и наименьшей вязкости нарушенной структуры  $\eta_m$ . Вискозиметр позволил получить обратную ветвь реологической кривой — ветвь восстановления вязкости (структуры) по мере уменьшения действующего напряжения (табл. 3).

Таблица 3

*Основные характеристики показателей реологических свойств сарматских глин Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья*

Показатель	Регионально-генетические типы глин			
	верхний сармат $N = 17$	средний сармат $N = 15$	средний сармат $N = 6$	нижний сармат $N = 60$
	Северное Причерноморье		Центральное Предкавказье	
$P_{K-1}$ , кПа	$\frac{1,7-3,8}{2,85}$	$\frac{1,0-3,2}{2,42}$	$\frac{1,6-1,9}{1,72}$	$\frac{1,1-4,1}{2,64}$
$P_{K-2}$ , кПа	$\frac{3,7-7,3}{5,41}$	$\frac{2,8-6,6}{4,88}$	$\frac{4,4-6,0}{5,05}$	$\frac{4,3-10,7}{7,18}$
$P_m$ , кПа	$\frac{4,6-8,7}{6,64}$	$\frac{3,9-7,4}{5,92}$	$\frac{5,6-8,1}{6,63}$	$\frac{6,4-11,9}{9,23}$
$\eta_{P_{K-1}}$ , $10^3 \text{Па} \cdot \text{с}$	$\frac{0,12-5,20}{1,72}$	$\frac{0,30-12,3}{1,69}$	$\frac{3,4-4,0}{3,7}$	$\frac{2,3-8,8}{4,3}$
$\eta_m$ , $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\frac{9,3-27,7}{19,70}$	$\frac{11,6-21,9}{16,87}$	$\frac{150-214}{176}$	$\frac{142-617}{220}$
$\eta_{P_{K-1}}/\eta_m$	$\frac{60-802}{357}$	$\frac{25-719}{546}$	$\frac{187-268}{212}$	$\frac{73-535}{219}$

Примечание. В числителе — пределы колебания, в знаменателе — среднее.

Анализ показателей реологических свойств кривых был сделан на образцах (пастах) сарматских глин Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья. Он показал, что все изученные глины относятся к различным типам по реологическому поведению по классификации И. М. Горьковой [8]. Основными являются: структурно-вязкие, тиксотронные бингамовские, пластичные шведовские и эластично-пластично-вязкие.

Структурно-вязкий тип характерен для образцов глинистых пород, содержащих повышенное количество дисперсных частиц, какими являются глины верхнего сармата и реже — среднего сармата Северного Причерноморья. В нарушенном состоянии эти образцы обладают способностью к медленному течению типа ползучести практически без нарушения структуры (рис. 1). После снятия напряжения глины остаются в разжиженном состоянии и обладают пльвунными свойствами.

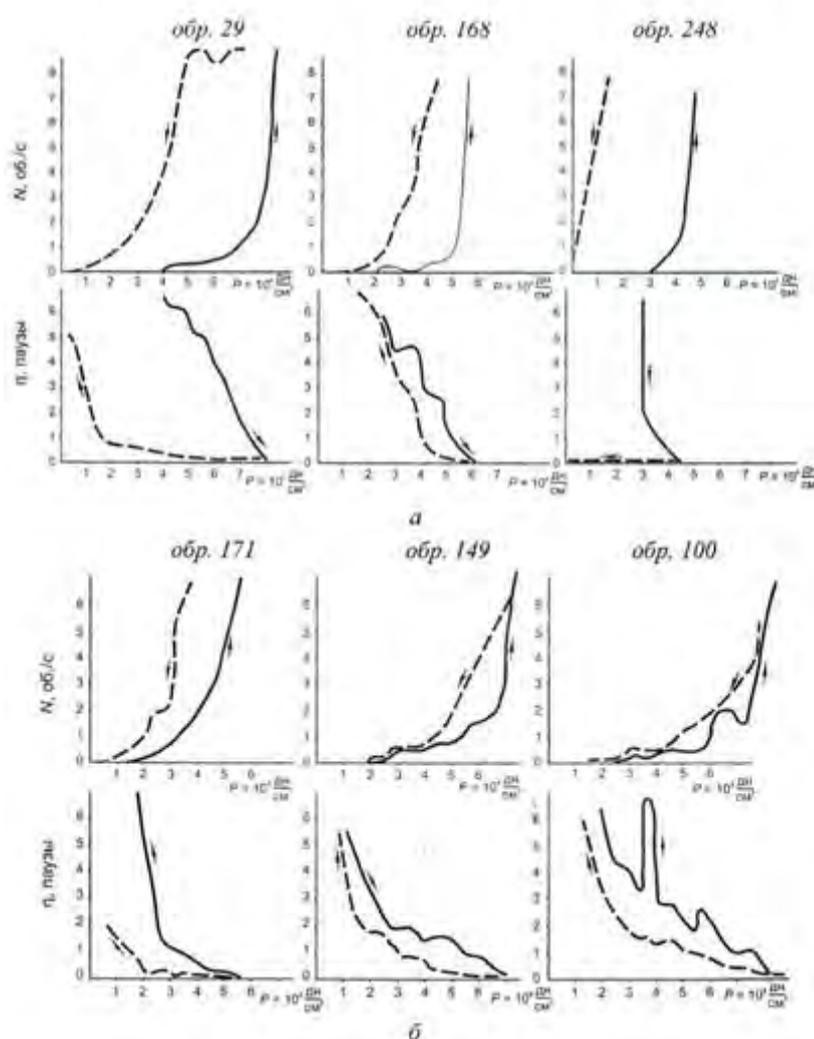


Рис. 1. Реологические кривые образцов сарматских глин Северного Причерноморья с нарушенной структурой [5]: *а* — бингамовский и структурно-вязкий типы; *б* — шведовский тип

На рисунках 1 и 2 представлены типичные реологические кривые и кривые зависимости эффективной вязкости от действующего напряжения.

Тиксотропный бингамовский тип наиболее распространен среди всех изученных регионально-генетических типов глинистых пород, характеризующихся влажностью предела текучести  $W_L = 0,40 \dots 0,55$  и числом пластичности  $J_p = 0,22 \dots 0,28$ . Характерной особенностью этих пород является твердообразный облик реологических кривых (рис. 1, а, б), обуславливающий большой гистерезис в восстановлении вязкости только при полном снятии напряжения. Средние значения условно статического предела текучести для таких пород составляют 2,5 и 2,79 КПа, условного динамического предела текучести — 5,01 и 5,06 КПа соответственно для глин с влажностью предела текучести, равной 0,4...0,5 и 0,5...0,6.

Пластичный шведовский тип наиболее характерен для образцов с пониженной пластичностью ( $W_L = 0,29 \dots 0,40$ ,  $J_p = 0,14 \dots 0,20$ ), какими являются в большей мере глины среднего сармата, содержащие прослой обломочного материала. Реологические кривые этих пород характеризуются менее твердообразным облик и меньшим гистерезисом в восстановлении вязкости (рис. 2). Средние значения условного статического и динамического пределов текучести составляют 0,33 и 4,99 КПа, [7].

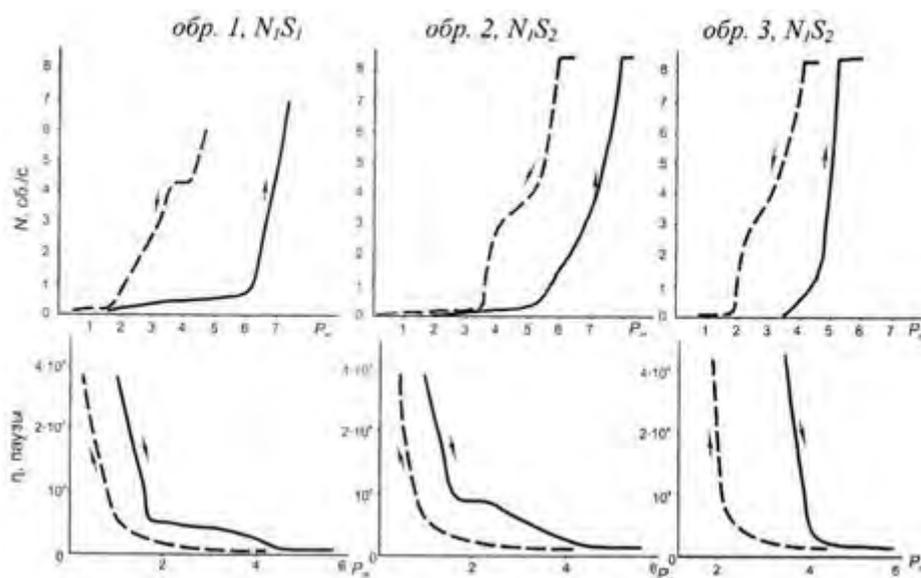


Рис. 2. Реологические кривые образцов сарматских глин Центрального Предкавказья [6]

Характерной особенностью некоторых реологических кривых, изображенных на рис. 1, является слабо выраженные пределы текучести и прочности за счет эффекта дилатансии, проявляющегося в виде бугров и пиков на отрезках кривых, соответствующих течению со шведовской пластичной вязкостью. Это объясняется дилатантным упрочнением образца вследствие нагромождения песчаных зерен с ростом действующего напряжения. Явление дилатансии наиболее наглядно проявляется у образцов с пониженным

значением числа пластичности и за счет содержания в дисперсной массе пасты микроагрегатов со стабилизационными контактами, что приближает эти глины по реологическому поведению к суглинистым дисперсно-песчаным породам.

Все образцы Центрального Предкавказья имеют хорошо выраженный условный статический предел текучести  $P_{K-1}$ . На всех реологических кривых отчетливо выражен прямолинейный участок наибольшей пластической вязкости, ограниченный напряжениями. Разрушения образовавшейся структуры при напряжениях происходит более или менее постепенно, а далее за бингамовским пределом текучести  $P_{K-2}$  структура пасты активно разрушается, она становится высокоподвижной и течет с наименьшей пластической вязкостью. Прямолинейный участок отчетливо выделяется на всех кривых. После предварительного разрушения структуры вязкость по мере убыли напряжения восстанавливается по-разному: как правило, тиксотропность характеризуется петлей гистерезиса, достаточно большой для большинства образцов. У многих образцов вязкость восстанавливается в области текучести.

#### **Выводы:**

По характеру деформационного поведения паст сарматские глины Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья можно отнести к группе тонкодисперсных пород, переходных от пластично-вязких к упруго-пластично-вязким разностям. К этой группе отнесены мелководные илы Черного моря [9], глубоководные новоэвксинские илы, пасты бентонита и сантонского мергеля при влажности ниже границы текучести. Согласно предложенной И. М. Горьковой схеме [8] зависимости деформационных особенностей пород от комплекса классификационных показателей сарматские глины относятся к группам высокодисперсных и смешанных пород со стабилизационными, пластифицированно-коагуляционными, коагуляционно-цементационными и цементационными структурными связями, средне и полностью водонасыщенных, слабой и средней степени уплотнения, средней и высокой степени литификации. Наибольшей потенциальной способностью к образованию оползней течения, выдавливания и пучению в горных выработках и откосах обладают глины среднего сармата.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М. : Высшая школа, 1978. 447 с.
2. Месчан С. Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения (с учетом временных эффектов). М. : Недра, 1974. 191 с.
3. Зиангиров Р. С. Изучение реологических свойств / Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах. Т. 2. Лабораторные методы. М. : Недра, 1974. С. 373—376.
4. Андрусов Н. И. Южнороссийские неогеновые отложения. Ч. II, III (Сарматский ярус) : избран. тр. М. : АН СССР, 1961. Т. 1. 711 с.
5. Монюшко А. М., Олянский Ю. И. Инженерно-геологические особенности сарматско-эоценовских глин Молдовы. Кишинев : Штиинца, 1991. 172 с.
6. Монюшко А. М. Инженерно-геологическая оценка сарматских глин. М. : Наука, 1974. 135 с.
7. Богомолов А. Н., Олянский Ю. И. Инженерно-геологические особенности сарматских глин южной окраины Русской платформы. Волгоград : ВолГАСУ, 2011. 162 с.
8. Горькова И. М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М. : Стройиздат, 1975. 151 с.
9. Грунтоведение / Е. М. Сергеев и др. М. : МГУ, 1983. 390 с.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Каныгин В. А., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Реологические свойства сарматских глин с нарушенной структурой / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский, В. А. Каныгин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 11—19.

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](mailto:sk0522@yandex.com)

**Каныгин Владимир Алексеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Yurii I. Olyanskii, Evgeniya V. Shchekochikhina, Sergei A. Kalinovskii,  
Vladimir A. Kanygin**

*Volgograd State Technical University*

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SARMATIAN CLAYS WITH BROKEN STRUCTURE

The indicators of rheological properties of sarmatian clays with disturbed structure from the regions of the Northern Black sea and Central Ciscaucasia are analyzed. All studied samples of clays of different regional genetic types are characterized by different rheological behavior: from structurally viscous to plastic. The greatest potential ability to form landslides flow, extrusion and heaving in mine workings and slopes have clay middle Sarmatian.

**Key words:** sarmatian clays, rheological properties, physico-mechanical properties, a rotational viscometer, the rheological curves.

*For citation:*

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Kanygin V. A. [Rheological properties of sarmatian clays with broken structure]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 11—19.

*About authors:*

**Yurii I. Olyanskii** — 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

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

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

**Vladimir A. Kanygin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 624.131

**М. П. Саинов**

*Московский государственный строительный университет*

## **МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВ ПЛОТИНЫ**

Описываются основные положения методики расчета напряженно-деформированного состояния грунтового сооружения, которая позволяет учесть все важные проявления нелинейности деформирования грунтовой среды, такие как различие деформируемости для ветвей нагружения, пластичность, дилатансия, ползучесть, возможность нарушения сплошности при растяжении. Методика основана на теории пластичности деформационной теории пластичности, предусматривающей возможность скалярной записи зависимости между приращениями напряжений и приращениями деформаций. Приведены формулы, заложенные в основу расчетов. Предложенная методика позволяет обеспечить необходимую точность расчета и не допустить бифуркации (раздвоения) решения нелинейной задачи.

**Ключевые слова:** грунтовая плотина, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, методика моделирования, итерационный метод, ползучесть.

**Введение.** В соответствии со строительными нормами (СП 39.13330.2012) расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых плотин повышенной ответственности должны проводиться с учетом нелинейного характера деформирования грунтовой среды<sup>1</sup>. Это связано с тем, что такие плотины, как правило, имеют большую высоту, а грунт в них воспринимает высокие нагрузки. Нормативный документ требует при расчетах НДС грунтовых плотин учитывать последовательность их строительства и нагружения<sup>2</sup>, т. к. она влияет на деформативные свойства грунтов. Но нелинейность деформирования грунтов заключается не только в изменении ее параметров, а имеет множество других проявлений. Хорошо известно, что деформации грунта протекают упруго-пластически, в процессе деформирования грунтов проявляются реологические и дилатантные свойства. Кроме того, деформативные свойства грунтов зависят от их прочностного состояния.

Необходимость учета нелинейного характера деформирования грунтовой среды требует применения в расчетах сложных, многопараметрических математических моделей. В работе [1] нами составлен обзор информации о моделях грунта, получивших наибольшее распространение при моделировании высоких каменно-набросных плотин. При расчетах НДС грунтовых плотин применяют модели Кулона — Мора [2—4], упрочняющегося грунта (Hardening Soil) [5, 6] и гиперболическую модель Дункана — Чанга [7, 8]. В России при расчетах НДС грунтовых плотин используют модели Ю. К. Зарецкого [9, 10, 11] и Л. Н. Рассказова [12].

<sup>1</sup> В п. 9.15 СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов сказано: «В расчетах напряженно-деформированного состояния плотин I и II классов следует, как правило, применять нелинейные модели, учитывающие пластические деформации грунта в предельном состоянии...».

<sup>2</sup> В п. 9.15 СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов сказано: «В расчетах необходимо учитывать поэтапность возведения плотины, скорость заполнения водохранилища...».

Наибольшее распространение при расчетах грунтовых плотин получили деформационные модели. Это связано с тем, что к настоящему времени деформативные свойства крупнообломочных грунтов, используемых в теле высоких каменно-набросных и каменно-земляных плотин, остаются слабо изученными [1]. Из-за недостатка информации в настоящее время не создано всеобъемлющей, исчерпывающей модели деформируемости грунта, даже сложные модели находятся в стадии становления.

Необходимость совершенствования моделей вызывает потребность в создании методик их численной реализации в специализированных вычислительных программах. Например, модель Ю. К. Зарецкого была реализована в вычислительной программе «Земля» [13]. В Национальном исследовательском университете МГСУ на кафедре гидравлики и гидротехнического строительства имеется обширный опыт создания специализированных вычислительных программ для реализации модели грунта, предложенной профессором Л. Н. Рассказовым [14]. Эта модель основана на гипотезе коаксиальности (соосности) направлений тензоров приращений деформаций и приращений напряжений. В данной статье описывается созданная автором методика расчетов НДС грунтовых плотин для применения усовершенствованной версии данной модели [15]. Созданная методика расчетов может быть применена и при использовании других моделей, например модели Дункана-Чанга.

Разработанная методика позволяет учитывать все основные проявления нелинейности деформирования грунтов:

- различие характера деформируемости на разных траекториях нагружения;
- влияние пути нагружения на параметры деформируемости грунта, в т. ч. эффект снижения деформируемости грунта при увеличении бокового обжатия и эффект повышения деформируемости по мере приближения к предельному состоянию;
- возможность хрупкого разрушения (разуплотнения) грунта при потере им прочности на растяжение;
- дилатансию (контракцию);
- ползучесть.

Следует отметить, что наличие нелинейной модели недостаточно для того, чтобы выполнять расчеты НДС сооружений с учетом нелинейного характера деформирования грунта. Очень многое зависит от методики реализации модели. Расчетная методика должна соответствовать ряду требований. Во-первых, она должна быть удобна для численной реализации. Во-вторых, методика должна обеспечивать получение результата решения задачи о НДС сооружения. В-третьих, получаемый результат должен быть однозначным, т. е. должно быть исключено влияние на результат хода выполнения расчета. В данной статье описаны основные положения методики, созданной нами в соответствии с данными требованиями.

**Материалы и методы.** Методика учета нелинейности деформирования грунта разрабатывалась для ее использования в рамках метода конечных элементов (МКЭ), получившего наибольшее распространение при численном моделировании грунтовых плотин. Соответственно, использовались основные законы механики твердого деформируемого тела. Алгоритм классического МКЭ подразумевает представление основных зависимостей механики сплошных сред в матрично-векторном виде.

Функция распределения перемещений по объему конечного элемента предусматривает использование т. н. функций формы. Перемещения произвольной точки элемента выражаются через степени свободы и функции формы элемента:

$$\{u\}_e = [N]\{u\},$$

где  $\{u\}_e$  – вектор всех компонент перемещений в точке конечного элемента;  $[N]$  — матрица значений функций формы в точке конечного элемента;  $\{u\}$  — вектор перемещений степеней свободы конечного элемента.

Связь между перемещениями и деформациями, описываемая для случая бесконечно малых деформаций соотношениями Коши, записывается в виде:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\},$$

где  $\{\varepsilon\}$  — вектор относительных деформаций, содержащий компоненты тензора деформаций для точки конечного элемента;  $[B]$  — матрица «формы» элемента в заданной точке, определяемая видом заранее заданной функцией распределения перемещений в конечном элементе, его формой и размерами.

Связь между деформациями и напряжениями для случая упругой сплошной среды описывается законом Гука в матричной форме:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\},$$

где  $\{\sigma\}$  — вектор напряжений, содержащий в себе все компоненты тензора напряжений в точке конечного элемента;  $[D]$  — матрица упругости, определяемая видом напряженного состояния и содержащая константы Ляме.

При создании методики расчетов НДС нам было необходимо привести выражение нелинейной модели к указанному виду связи деформаций и напряжений, а также создать алгоритм, позволяющий учесть в ее рамках все нелинейные эффекты деформируемости грунта.

Классический алгоритм МКЭ создан для решения однозначной, упругой задачи. Он предусматривает построение из матриц  $[B]$  и  $[D]$  конечных элементов матрицы жесткости модели сооружения  $[K]$ , а затем — решение системы линейных алгебраических уравнений:

$$[K]\{U\} = \{F\}.$$

Здесь  $\{F\}$  — вектор-столбец сил, отнесенных к степеням свободы модели сооружения;  $\{U\}$  — вектор-столбец перемещений степеней свободы модели сооружения.

Определив перемещения степеней модели сооружения, можно вычислить деформации и напряжения в каждой точке любого из конечных элементов.

Для решения задач с физической и геометрической нелинейностью разработаны различные способы, описанные в научно-технической литературе [16, 17]. При создании методики выполнения расчетов нам было необходимо выбрать наиболее подходящие из них, приспособить их для решения поставленных задач, а при необходимости — внести совершенствующие коррективы.

Для выполнения оценок прочности нами были использованы соотношения механики твердого деформируемого тела, позволяющие определять величины главных напряжений, а также вычислять по ним компоненты тензора напряжений. Главные напряжения определялись по компонентам тензора напряжений (осевые нормальные напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  и касательные напряжения  $\sigma_{xy}$ ,  $\sigma_{xz}$ ,  $\sigma_{yz}$ ) через инварианты девиатора напряжений [18].

Второй инвариант девиатора напряжений  $II_{D2}$  определяется по формуле:

$$II_{D2} = \sigma'_x \sigma'_y + \sigma'_x \sigma'_z + \sigma'_y \sigma'_z - \sigma_{xy}^2 - \sigma_{xz}^2 - \sigma_{yz}^2.$$

Третий инвариант девиатора напряжений  $II_{D3}$  определяется по формуле:

$$II_{D3} = \sigma'_x \sigma'_y \sigma'_z + 2\sigma_{xy} \sigma_{xz} \sigma_{yz} - \sigma'_x \sigma_{yz}^2 - \sigma'_y \sigma_{xz}^2 - \sigma'_z \sigma_{xy}^2.$$

Здесь  $\sigma'_x = \sigma_x - \sigma$ ,  $\sigma'_y = \sigma_y - \sigma$ ,  $\sigma'_z = \sigma_z - \sigma$  — компоненты девиатора напряжений.

Формулы для определения главных напряжений могут быть представлены в виде:

$$\sigma_1 = \sigma - P \cos\left(\varphi + 2\pi\right); \sigma_2 = \sigma - P \cos\left(\varphi + \frac{4}{3}\pi\right); \sigma_3 = \sigma - P \cos\left(\varphi + \frac{2}{3}\pi\right),$$

где  $P = 2\sqrt{-\frac{II_{D2}}{3}}$ ;  $\varphi = \arccos\left(\frac{\sqrt{27}}{2} \frac{II_{D3}}{\sqrt{-(II_{D2})^3}}\right)$ .

Для определения компонент тензора напряжений по главным напряжениям использовались следующие формулы, в которых участвуют направляющие косинусы главных напряжений [19]:

$$\sigma_x = \sigma_1 (\cos \alpha_{x1})^2 + \sigma_2 (\cos \alpha_{x2})^2 + \sigma_3 (\cos \alpha_{x3})^2;$$

$$\sigma_y = \sigma_1 (\cos \alpha_{y1})^2 + \sigma_2 (\cos \alpha_{y2})^2 + \sigma_3 (\cos \alpha_{y3})^2;$$

$$\sigma_z = \sigma_1 (\cos \alpha_{z1})^2 + \sigma_2 (\cos \alpha_{z2})^2 + \sigma_3 (\cos \alpha_{z3})^2;$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_1 \cos \alpha_{x1} \cos \alpha_{y1} + \sigma_2 \cos \alpha_{x2} \cos \alpha_{y2} + \sigma_3 \cos \alpha_{x3} \cos \alpha_{y3};$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_1 \cos \alpha_{x1} \cos \alpha_{z1} + \sigma_2 \cos \alpha_{x2} \cos \alpha_{z2} + \sigma_3 \cos \alpha_{x3} \cos \alpha_{z3};$$

$$\sigma_{yz} = \sigma_1 \cos \alpha_{y1} \cos \alpha_{z1} + \sigma_2 \cos \alpha_{y2} \cos \alpha_{z2} + \sigma_3 \cos \alpha_{y3} \cos \alpha_{z3}.$$

Направляющие косинусы главных напряжений определялись по формуле:

$$\cos \alpha_{xj} = \frac{1}{\sqrt{1+A^2+B^2}}; \cos \alpha_{yj} = -\frac{A}{\sqrt{1+A^2+B^2}}; \cos \alpha_{zj} = -\frac{B}{\sqrt{1+A^2+B^2}}.$$

Здесь  $A$  и  $B$  — параметры, определяемые по формулам:

$$A = \frac{\sigma_{xy}(\sigma_z - \sigma_j) - \sigma_{xz}\sigma_{yz}}{(\sigma_y - \sigma_j)(\sigma_z - \sigma_j) - \sigma_{yz}^2}; B = \frac{\sigma_{xz}(\sigma_y - \sigma_j) - \sigma_{yz}\sigma_{xy}}{(\sigma_y - \sigma_j)(\sigma_z - \sigma_j) - \sigma_{yz}^2}.$$

Еще одной важной составляющей методики расчетов НДС является способ вычисления внутренних сил, т. е. сил, соответствующих напряжениям, действующим в сооружении. Из сравнения формул для определения работы сил и энергии деформирования можно получить выражение для определения величины внутренней силы, относящейся к степени свободы  $j$ :

$$f_j = \int_V \left( \{b_j\}^T \{\Delta\sigma\} \right) dV.$$

Здесь  $V$  — объем конечного элемента;  $\{b_j\}$  — столбец матрицы формы  $[B]$  в точке конечного элемента, выражающий влияние степени свободы  $j$  на вектор относительных деформаций  $\{\varepsilon\}$ .

### Результаты

Разработанная методика расчетов НДС с учетом нелинейности деформирования грунта включает в себя методики учета каждого из нелинейных эффектов.

**Учет зависимости деформируемости грунта от вида траектории нагружения.** Как известно, различают следующие виды (ветви) траектории нагружения: активное нагружение и разгрузка (включая нейтральное нагружение). Определяющим фактором для разграничения траекторий нагружения на виды является наличие в материале пластических деформаций. При разгрузке деформации материала протекают в основном упруго, а при активном нагружении происходят как упругие, так и пластические деформации. Деформируемость грунта при разгрузке на порядок меньше, чем при активном нагружении, поэтому при выполнении расчетов НДС грунтовых сооружений очень важно учитывать наличие двух ветвей нагружения. На указанных ветвях нагружения (разгрузка и активное нагружение) различаются не только параметры, но и вид (запись) математической модели деформируемости грунта.

Для возможности расчета НДС сооружения с учетом различия ветвей нагружения необходимо иметь надежную расчетную методику, обеспечивающую однозначность получаемого решения. Существуют несколько методов учета различия ветвей нагружения. Большое распространение получила теория пластического течения, в которой возникновение при нагружении пластических деформаций материала определяется положением т. н. поверхности пластичности (или нагружения) [20]. Эти поверхности разграничивают области упругого (разгрузки) и упруго-пластического деформирования (активного нагружения) в пространстве главных напряжений или в пространстве инвариантов тензора напряжений.

В теории пластического течения постулируется, что независимо от характера приложенной нагрузки направление вектора приращений деформации будет перпендикулярным к поверхности пластичности [20]. Однако, как показали исследования, в грунтах невозможно достоверно определить положение данных поверхностей [21, 22], т. к. они изменяют свое положение в зависимости от направления нагружения.

Тем не менее использование поверхностей нагружения (пластичности) для определения вида нагружения является наиболее удобным способом. Зная напряженное состояние в точке, можно определить, находится она внутри области разгрузки или вне ее, соответственно, выяснив вид (ветвь) нагружения. Однако следует отметить условность и неоднозначность данного подхода, ведь напряженное состояние в точке зависит от вида нагружения. Из-за сложного характера работы сооружения заранее достоверно определить, какая из частей сооружения будет испытывать активное нагружение, а какая — разгрузку, очень сложно.

По этой причине нами было предложено выполнять расчет в две стадии, имитируя фазы процесса деформирования грунта, возникающие при восприятии внешних сил [23]. Известно, что при всяком нагружении деформации грунта возникают не мгновенно, а нарастают во времени. Поэтому было предложено считать, что в начальный момент времени деформации протекают упруго, а затем в зависимости от вида напряженного состояния в точке пластические деформации могут возникнуть или же не проявиться. При предложенном подходе определение вида нагружения производится для напряженного состояния в точке, определенной для условий разгрузки. Это создает условия для однозначного решения задачи.

Вкратце расчет по предложенной методике происходит следующим образом. Сначала, на первой стадии, расчет НДС производится для ветви разгрузки. Затем для каждой из точек сооружения определяется вид (ветвь) нагружения. Фиксируются изменения НДС сооружения, произошедшие по ветви разгрузки. На второй стадии расчет ведется для случая активного нагружения, но в расчете учитывается лишь та («активная») часть внешних сил, которая ведет к развитию пластических деформаций.

Сложность предложенной методики расчета заключается в определении «активной» части внешних сил и в разграничении двух видов нагружения (активного нагружения и разгрузки). Учитывая наличие множества условностей и неопределенностей, для разрешения этих сложностей нами были использованы самые простые условия разграничения траекторий активного нагружения и разгрузки.

Из опыта известно, что активное нагружение происходит при росте среднего напряжения, а также при росте сдвиговых напряжений. Соответственно, условия возникновения активного нагружения можно записать следующим образом:

$$\sigma^i > \sigma^g ;$$
$$\tau_{\max}^i > \tau^g ,$$

где  $\tau_{\max}^{i-1}$  и  $\sigma^{i-1}$  — соответственно максимальные касательные напряжения и средние нормальные напряжения, соответствующие текущему напряженному состоянию грунта;  $\tau^g$  и  $\sigma^g$  — величины, характеризующие границу области упругого деформирования.

Кроме того, было принято, что активное нагружение может происходить в случае одновременного снижения средних и сдвиговых напряжений. Это условие было записано в виде:

$$\frac{\tau_{\max}^i - \tau_{\max}^{i-1}}{\sigma^i - \sigma^{i-1}} > \operatorname{tg} \varphi.$$

Здесь  $\tau_{\max}^{i-1}$  и  $\sigma^{i-1}$  — соответственно максимальные касательные напряжения и средние нормальные напряжения, соответствующие предшествующему напряженному состоянию грунта;  $\varphi$  — угол наклона границы упругой зоны на графике зависимости между  $\tau_{\max}$  и  $\sigma$ .

Полученная условная граница между областями упругого и упруго-пластического деформирования графически показана на рис. 1. Ее форма похожа на используемые поверхности пластичности, но несколько проще. В отличие от теории пластического течения данная граница используется лишь для определения вида нагружения, но не для определения направления пластических деформаций.

Рис. 1. Принятая схема расположения границы области упругого деформирования:  $\sigma$  — средние нормальные напряжения;  $\tau$  — касательные напряжения;  $\varphi$ ,  $c_y$  — параметры; 1 — траектория нагружения; 2 — граница области упругого деформирования (разгрузки)

Таким образом, положение принятой границы области упругого деформирования определяется двумя величинами. Первая величина — это  $\sigma^g$ , а в качестве второй могут выступать либо  $\tau_{\max}^g$ , либо  $\varphi$ .

Указанный способ, как и способ с поверхностями пластичности, имеет несколько недостатков. Основной недостаток — это отсутствие однозначного способа определения положения границы упругой области. Используемые величины  $\tau^g$  и  $\sigma^g$  — это лишь некоторые граничные значения, фиксирующие наиболее напряженное состояние, которому подвергался грунт. Для их определения необходимо вводить дополнительные допущения. Нами было принято, что для определения граничных значений  $\tau_{\max}^g$  (или  $\varphi$ ) и  $\sigma^g$  можно использовать максимальные значения этих величин для всех предшествующих моментов времени.

Разработанная методика предполагает, что упругая часть деформаций соответствует нагружению от предшествующего момента времени ( $\sigma^{i-1}$ ,  $\tau^{i-1}$ ) до границы упругой области. Соответствующие им величины приращений касательных и нормальных напряжений определяются следующим образом:

$$\Delta\tau_{\text{упр}} = \tau^g - \tau^{i-1}; \quad \Delta\sigma_{\text{упр}} = \sigma^g - \sigma^{i-1}.$$

На первой стадии расчета по величинам  $\Delta\tau_{\text{упр}}$  и  $\Delta\sigma_{\text{упр}}$  через главные напряжения можно определить ту часть приращений компонент тензора напряжений, которая соответствует упругому деформированию.

Оставшаяся часть приращений напряжений будет вызывать упругопластические деформации (на второй стадии расчета):

$$\Delta\tau_{y-пл} = \tau^i - \tau^g; \Delta\sigma_{y-пл} = \sigma^{i-1} - \sigma^g.$$

На самом деле в методике задача решается несколько иначе. По величинам компонент приращений тензора напряжений, которые соответствуют упругому деформированию, определяются внутренние «силы». А затем, на второй стадии, расчет ведется для оставшейся, некомпенсированной ими части внешних сил.

Предложенный и использованный расчетный способ — приближенный, однако он является теоретически более строгим и обоснованным. Это важно отметить, если сравнивать предложенный способ с тем, который использовался профессором Л. Н. Рассказовым и его учениками при расчетах грунтовых сооружений методом локальных вариаций. Ими условно принималось, что разгрузка возможна только при приращении вертикальных перемещений и только при направлении снизу вверх. Из-за этого в процессе расчета одна и та же часть сооружения могла испытывать то разгрузку, то активное нагружение (в зависимости от направления варьируемого перемещения). Опасность такого подхода заключается в том, что от хода (последовательности) расчета зависит получаемый результат.

При реализации предложенной нами методики в вычислительной программе была выявлена угроза отсутствия сходимости к результату. Эта расходимость проявляется только в том случае, если при решении задачи допускается возможность нахождения грунта в предельном состоянии, когда грунт не способен воспринимать касательные напряжения. Расходимость расчета проявляется в бесконечном нарастании в ходе итерационного процесса в зонах предельного состояния грунта. Такое происходит тогда, если параметры деформируемости грунта, используемые на первой, упругой стадии (разгрузки) расчета, не соответствуют предельному состоянию грунта. Из-за этого на первой стадии расчета в грунте возникают касательные напряжения, которые впоследствии на второй стадии расчета (стадии активного нагружения) не смогут быть компенсированы. Нами дана рекомендация: для зон нахождения грунта в предельном состоянии модуль сдвига должен быть принят равным 0 для любой из траекторий нагружения.

**Моделирование при переменных значениях параметров деформируемости.** При расчете для стадии активного нагружения должен быть воспроизведен упруго-пластический характер деформирования грунтовой среды с наличием эффекта упрочнения. Из экспериментальных исследований грунтов хорошо известно, что по мере приближения к предельному состоянию сдвиговые деформации грунта нарастают более интенсивно. Эффект «упрочнения» связан с влиянием на деформируемость грунта бокового обжатия. При росте напряжений обжатия происходит снижение деформируемости грунта как на участке шарового, так и девиаторного нагружения.

Модель грунта, предложенная профессором Л. Н. Рассказовым, связывает между собой вектор приращения тензора напряжений и вектор приращения тензора деформаций в виде скалярной зависимости [13]. При этом в качестве основных параметров модели выступают модуль объемной деформации

$E_0$  и модуль сдвига  $G$  (соответствующие приращениям деформаций). В этом случае матрицу  $[D]$  правильно называть не матрицей упругости, а матрицей деформирования и выражать ее не через модуль линейной деформации  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$ , а через  $E_0$  и  $G$ . Например, для случая решения задачи плоской деформации зависимость между вектором приращений напряжений  $\{\Delta\sigma\}$  и вектором приращений деформаций  $\{\Delta\varepsilon\}$  может быть записана в матричной форме в следующем виде:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma_x \\ \Delta\sigma_y \\ \Delta\sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_0 + \frac{4}{3}G & E_0 - \frac{2}{3}G & 0 \\ E_0 - \frac{2}{3}G & E_0 + \frac{4}{3}G & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon_x \\ \Delta\varepsilon_y \\ \Delta\varepsilon_{xy} \end{Bmatrix}.$$

Здесь  $\Delta\sigma_x$ ,  $\Delta\sigma_y$ ,  $\Delta\sigma_{xy}$  — компоненты тензора приращений напряжений;  $\Delta\varepsilon_x$ ,  $\Delta\varepsilon_y$ ,  $\Delta\varepsilon_{xy}$  — компоненты тензора приращений деформаций.

Величины  $E_0$  и  $G$  не являются постоянными для траектории активного нагружения, а изменяются в зависимости от ряда факторов (от напряжения обжатия, от степени приближения грунта к предельному состоянию). Соответственно, для отражения нелинейной зависимости между  $\{\Delta\sigma\}$  и  $\{\Delta\varepsilon\}$  необходимо, чтобы матрица  $[D]$  была переменной в процессе расчета.

Существуют различные способы расчета НДС с использованием нелинейной модели деформирования материала, когда матрица  $[D]$  является переменной.

Часто применяется способ последовательных приближений (итераций). Его суть заключается в поиске таких перемещений системы, чтобы вызываемые ими внутренние усилия, с одной стороны, соответствовали бы нелинейной модели, с другой — уравновешивали бы внешние силы.

Итерации могут проводиться как через левую часть основного уравнения МКЭ (через матрицу жесткости  $[K]$ ), так и через правую часть (через вектор внешних сил  $\{F\}$ ). В первом случае итерационный метод называется методом переменной матрицы жесткости, а во втором — методом переменного вектора сил. Однако применение итерационных методов затруднено тем, что деформативные характеристики грунтовой среды могут очень сильно изменяться в процессе нагружения. Эти изменения затрагивают оба из пары параметра, характеризующие деформируемость грунта (модуль деформации грунта  $E$  + коэффициент относительной поперечной деформации  $\nu$  или модуль объемной деформации  $E_0$  + модуль сдвига  $G$ ). Это может вызвать двойственность, неоднозначность решения. Результат решения может зависеть от хода («пути») последовательных приближений.

Кроме того, существует опасность расходимости итерационного процесса. В работе [13] нами было продемонстрировано, что даже для случая простого нелинейного процесса (в котором изменяется только один из пары параметр модели) итерационный процесс может не сходиться. Этот эффект хо-

рошо известен из теории метода простой итерации. В задачах НДС расходимость итерационных методов наблюдается в случае, когда деформируемость материала, принятая в начале расчета, больше, чем реальная. Этот случай характерен для начальной стадии активного нагружения грунта, когда за счет роста бокового обжатия при нагружении деформируемость грунта резко снижается. Данный вывод можно подтвердить на еще более простом примере — невозможно добиться решения задачи с ненулевой жесткостью, если начальную расчетную жесткость задать нулевой.

Аналогичная ситуация складывается при расчете по модели с двумя параметрами деформируемости. Расходимость расчета возникает тогда, когда в ходе итераций один из параметров изменяется в сторону снижения деформируемости грунта. Например, если сначала величина коэффициента Пуассона была принята  $\nu \approx 0,5$  (или  $G \ll E_0$ ), а затем в процессе нагружения происходит его уменьшение (или рост  $G$ ), то итерационный процесс не сходится. Если же в процессе нагружения оба параметра деформируемости изменяются сложным образом, опасность расхождения итерационного процесса еще более возрастает.

По этим причинам нами был применен другой метод — замена решения нелинейной задачи на решение ряда линейных задач (условно назовем его методом ступенчатого нагружения). В этом методе внешние нагрузки прикладываются к сооружению несколькими меньшими ступенями (долями), а деформативные характеристики грунта на каждой из ступеней принимаются постоянными. От ступени к ступени они изменяются — вычисляются по нелинейной модели. При большом количестве долей (ступеней) нагружения можно получить решение, очень близкое к точному.

Преимуществом использования этого метода является отсутствие итерационного процесса и, соответственно, проблемы его сходимости.

Однако метод ступенчатого нагружения применим лишь для случая, когда нелинейная модель поведения среды подразумевает монотонный характер изменения параметров деформируемости от ступени к ступени. Между тем так происходит не всегда — в грунте (или на контакте конструкций) возможно хрупкое разрушение и, соответственно, нарушение сплошности.

**Моделирование хрупкого разрушения.** При расчетах НДС очень важно учитывать, что грунты не имеют существенной прочности на растяжение. Нарушение прочности на растяжение сопровождается нарушением сплошности. Оно происходит по схеме хрупкого разрушения, которое характеризуется резким, скачкообразным изменением параметров деформируемости и напряженного состояния материала. При достижении напряжениями прочности на растяжение из-за нарушения сплошности они резко «падают», а деформации получают возможность неограниченно возрастать.

Условие сохранения прочности на растяжение выражают через главные напряжения<sup>3</sup>:

$$\sigma_j \leq R_p,$$

где  $\sigma_j$  — главное напряжение,  $R_p$  — прочность на растяжение.

<sup>3</sup> Имеется в виду, что сжатую соответствует знак «-», а растяжению «+».

Если данное условие не выполняется, это означает, что в материале образуется трещина или происходит разуплотнение, т. к. он не способен воспринимать растягивающее напряжение. Для учета нарушения сплошности необходимо принять  $\sigma_j = 0$ , а напряженное состояние в точке необходимо скорректировать. Для корректировки тензора напряжений нами используются выше приведенные. Чтобы воспользоваться ими, необходимо предварительно найти направляющие косинусы главных напряжений относительно координатных осей.

Метод ступенчатого нагружения оказывается неприменим для воспроизведения описанного выше скачкообразного характера изменения деформируемости (и напряженного состояния) при нарушении прочности грунта на растяжение. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, точно зафиксировать момент и определить зоны нарушения сплошности можно только при очень большом количестве «ступеней». Во-вторых, невозможно моделировать поведение материала с нарушенной структурой, приняв его жесткость, равной 0.

Из этого следует, что для воспроизведения процессов хрупкого разрушения необходимо использовать итерационный метод решения. Однако чтобы обеспечить сходимость, в этом методе расчетные деформативные свойства среды принимаются постоянными, соответствующими линейной модели деформирования. Соответственно, матрица жесткости  $[K]$  при расчете не изменяется. Итерации происходят только по величинам напряжений.

Итерационный процесс осуществляют следующим образом. На каждой из итераций сначала расчет ведется по обычной схеме МКЭ. Из решения основной системы уравнений МКЭ определяются перемещения, а по ним — деформации. Однако напряжения вычисляются по нелинейной модели. Из-за несоответствия реальных напряжений тем, которые найдены для линейной модели, внешние силы не уравниваются внутренними. Разница внешних и внутренних сил передается на рассматриваемую систему в качестве дополнительных сил, и производится следующая итерация.

Основная система уравнений МКЭ, используемая при выполнении итерации  $L$ , выглядит следующим образом:

$$[K]\{\delta u_L\} = \{\delta F_L\}.$$

Здесь  $\{\delta F_L\}$  — вектор неуравновешенных сил для итерации  $L$ , получаемый как разница вектора внешних сил и вектора внутренних сил, накопленных на предыдущих итерациях;  $\{\delta u_L\}$  — вектор приращений степеней свободы на итерации  $L$ .

При выполнении итерационного процесса производится накопление перемещений степеней свободы.

Итерационный процесс должен продолжаться до тех пор, пока внешние силы и внутренние усилия не уравниваются друг друга с достаточной точностью. В использованной нами методике расчетов в качестве критерия точности используется относительная разница внешних и внутренних сил.

Проблемы сходимости описанного итерационного процесса, как правило, не возникает, т. к. деформативные параметры среды в ходе его выполне-

ния принимаются постоянными<sup>4</sup>. Более того, опыт показал [14], что итерационный процесс может сходиться даже тогда, когда деформативные параметры, по которым сформирована матрица жесткости, не будут соответствовать реальным.

При определенных условиях возможно «зацикливание» итерационного процесса. Во избежание «зацикливания» необходимо вводить ограничительные меры. Во-первых, необходимо вводить некоторый запас на порог (предел) прочности, т. е. «разрешать» нарушение сплошности только в случае, если прочность будет превышена с запасом. Это несколько снижает точность решения, но не позволяет результату решения зависеть от его хода. Во-вторых, необходимо принимать, что если в ходе расчета произошло нарушение сплошности, то в последующем материал не может вернуться в исходное, прочное состояние. Это же отвечает физике процесса разрушения.

**Учет дилатансии.** Потребность в использовании итерационного процесса также возникает при необходимости учета явления дилатансии (контракции). Явление дилатансии (или контракции) заключается в том, что при девиаторном нагружении, которое направлено только на изменение формы образца, происходит не только изменение формы, но и изменение его объема. Сложность учета дилатансии заключается в том, что описывающие ее модели сложны для использования. Как правило, объемная деформация, вызванная дилатансией, выражается через одну из интегральных характеристик процесса формоизменения. Это может быть интенсивность касательных напряжений  $T$  или интенсивность деформаций сдвига  $\Gamma$  (или через их приращения).

По этой причине зависимость между компонент тензоров приращений напряжений и напряжений получается неудобным для матричного представления. Используемый в МКЭ матричный вид зависимости между  $\{\Delta\sigma\}$  и  $\{\Delta\varepsilon\}$ , в котором компоненты тензора напряжений связаны с компонентами тензора деформаций линейной зависимостью, не позволяет однозначно, без итераций учесть наличие явления дилатансии.

Расчеты, выполненные нами, показали, что учет наличия дилатансии (контракции) не ведет к кардинальному изменению НДС и может быть осуществлен в рамках итерационного процесса. При этом матрица жесткости формируется для модели без учета дилатансии, а при вычислении напряжений она учитывается. Из-за несоответствия между предполагаемыми и реальными (истинными) напряжениями требуется расчет по итерационной схеме.

*Учет ползучести* грунта представляет собой еще более сложную задачу. Наличие ползучести означает, что связь между  $\{\Delta\sigma\}$  и  $\{\Delta\varepsilon\}$  зависит от времени. Из-за этого изменение внешних нагрузок определяет НДС не только в момент (этап) их появления, но и на всех последующих этапах. Это значительно усложняет алгоритм расчета.

Существует несколько теорий ползучести (теории старения, течения, наследственности, упрочнения). В расчетах НДС грунтовых плотин распространение получила теория наследственной ползучести, т. к. она позволяет учитывать влияние на ползучесть грунта пути нагружения. В соответствии с этой теорией

---

<sup>4</sup> По этой причине не следует смешивать данный итерационный метод с методом Ньютона — Рафсона.

величина деформаций ползучести, возникающих на каждой из ступеней нагружения, являются различными. Математическая модель, описывающая развитие деформаций ползучести во времени, может иметь разные формы записи. Приращения напряжений могут быть связаны математической зависимостью либо со скоростью деформаций, либо с деформациями на заданный момент времени. Первый способ использован, в частности, китайскими исследователями [24, 25] при модификации модели Дункана-Чанга. Профессором Л. Н. Рассказовым и его учеником П. В. Солдатовым использован второй способ.

Реализация реологической модели наследственной ползучести может быть осуществлена различными способами.

Прямой способ заключается в выполнении расчета НДС по каждому из расчетных этапов и ступеней нагружения не один раз, а несколько — для каждого из последующих моментов времени (расчетных этапов). Этот способ самый точный — он позволяет определить на каждый момент времени перемещения сооружения с учетом ползучести. Однако он очень трудоемкий — для каждого из последующих моментов времени требуется построение матрицы жесткости, а затем выполнение расчета НДС (в т. ч. возможно с наличием итераций). Это значительно увеличивает время расчета.

Поэтому разрабатываются более рациональные с точки зрения вычислительных затрат способы расчета.

Один из таких способов был разработан и применен профессором Л. Н. Рассказовым и его учениками (П. В. Солдатов, Хуньба Ки Тхуат и др.) при расчетах НДС грунтовых плотин. В соответствии с теорией наследственной ползучести было принято, что распределение напряжений в сооружении сохраняется постоянным в течение всего периода эксплуатации, а рост деформаций ползучести вызван изменением деформативных характеристик грунта во времени. Это позволяет вычислить величины деформаций для любого последующего момента времени, если известны величины напряжений.

Алгоритм расчета по данному способу заключается в следующем. В конце каждого из расчетных этапов (на которых происходит изменение внешних сил) производится вычисление деформаций ползучести для каждого из последующих этапов. Для этого для каждого из последующих этапов сначала вычисляются параметры деформируемости грунта (модуль объемной деформации и модуль сдвига), а затем по каждому из известных элементов тензора приращений напряжений вычисляется соответствующий элемент тензора приращений деформаций. Деформации элементов для этапов, моделирующих этап эксплуатации сооружений, складываются из деформаций, рассчитанных по каждому из этапов строительного периода.

Затем по известным деформациям из соотношений Коши производился расчет перемещений степеней свободы. Расчет начинался с тех элементов, в которых количество неизвестных перемещений было минимальным. Однако данная задача не могла быть решена однозначно — количество неизвестных перемещений, как правило, не равнялось количеству уравнений. В частности, если решалась плоская задача с простыми треугольными конечными элементами, то количество уравнений равняется трем (по числу элементов тензора деформаций), а количество неизвестных перемещений равнялось двум (две степени свободы одного узла). Такая схема расчета обуславливала низкую точность прогноза перемещений сооружения, вызванных ползучестью грунтов.

Для использования сложных конечных элементов с несколькими узлами и точками интегрирования такой способ расчета был практически нереализуем. Нами был предложен и реализован более совершенный метод расчета, который позволяет обеспечить необходимую точность прогноза деформаций сооружения от ползучести.

Так же, как и в вышеописанном способе, в конце каждого расчетного этапа по известным приращениям напряжений для каждого из последующих моментов времени вычисляются приращения деформаций за счет ползучести. Для этого используются нижеприведенные формулы, позволяющие вычислить приращение тензора деформаций за счет ползучести за интервал времени от  $t_1$  до  $t_2$ .

Приращение угловой деформации за счет ползучести вычисляется по формуле:

$$\Delta \varepsilon_{ij}^{t_1 \rightarrow t_2} = \Delta \sigma_{ij} k_G,$$

где  $\Delta \sigma_{ij}$  — касательное напряжение, компонента тензора приращений напряжений, соответствующая рассматриваемой компоненте тензора приращений деформаций;  $k_G = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{G^{t_2}} - \frac{1}{G^{t_1}} \right)$  — коэффициент, учитывающий изменение модуля сдвига от величины  $G^{t_1}$  (для момента времени  $t_1$ ) до величины  $G^{t_2}$  (для момента времени  $t_2$ ).

Приращение линейной деформации за счет ползучести вычисляется по формуле:

$$\Delta \varepsilon_{ii}^{t_1 \rightarrow t_2} = \Delta \sigma_{ii} k_G + \Delta \sigma_0 (k_E - k_G),$$

где  $\Delta \sigma_{ii}$  — нормальное напряжение, компонента тензора приращений напряжений, соответствующая рассматриваемой компоненте тензора приращений деформаций;  $\Delta \sigma_0$  — приращение среднего нормального напряжения,  $k_E = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{E_0^{t_2}} - \frac{1}{E_0^{t_1}} \right)$  — коэффициент, учитывающий изменение модуля объемной деформации от величины  $E_0^{t_1}$  (для момента времени  $t_1$ ) до величины  $E_0^{t_2}$  (для момента времени  $t_2$ ).

Для определения по известным деформациям сооружения его перемещений нами предложен и реализован способ, который условно можно назвать способом «фиктивных сил». Он основан на предположении, что появление деформаций ползучести вызвано нарушением в материале части структурных связей. Соответственно, часть внутренних усилий, которая ранее воспринималась этими связями, перераспределяется на оставшиеся. Принимается, что появление в сооружении деформаций от ползучести является следствием нарушения равновесия внутренних усилий и внешних сил, т. е. появлением некоторых дополнительных «фиктивных сил».

Соответственно, идея предложенного способа состоит в следующем. Если в сооружении уменьшить действующие напряжения на ту часть, которая была утрачена (потеряна) вследствие нарушения структурных связей, это

приведет к возникновению дополнительных сил, по которым можно определить перемещения сооружения от ползучести. Так как эти силы вычислены четко через утраченную долю напряжения, то их приложение к сооружению вернет распределение напряжений к исходному. Эти силы не создают дополнительную нагрузку на сооружение, а являются фиктивными. Однако при их приложении в сооружении проявятся искомые дополнительные деформации от ползучести.

Результаты расчета будут правильными в том случае, если полученные расчетные деформации сооружения соответствовали изначально заданным деформациям ползучести. Для этого необходимо соблюдать условие — деформативные характеристики грунта, по которым вычисляются «утраченные» напряжения, и те деформативные характеристики, по которым производится расчет НДС на этапе, должны быть равны друг другу.

Тестовые расчеты для простых схем подтвердили, что предложенный способ обеспечивает достижение точных результатов. Данная методика является более строгой и теоретически обоснованной. Кроме того, у данного способа есть еще одно важное преимущество: он позволяет проводить расчеты изменения НДС сооружения для случая, когда в разных его зонах деформации ползучести нарастают с разной скоростью. В этом случае происходит перераспределение НДС сооружения. При использовании предложенного способа учет перераспределения НДС достигается автоматически.

С помощью способа «фиктивных сил» можно моделировать и просадки сооружения, например за счет замачивания грунта. Для этого необходимо только определить ту часть напряжений, потеря которых происходит за счет нарушения структурной устойчивости грунта.

#### **Выводы:**

1. Грунтовая среда представляет собой материал с ярко выраженными нелинейными свойствами по деформируемости. Используемые для описания процессов нелинейные деформирования грунтов довольно сложны для численной реализации, это требует развития и совершенствования методик расчетов НДС грунтовых сооружений.

2. Предложен и применен приближенный двухстадийный способ расчета с учетом возможности деформирования грунта по одной из двух ветвей нагружения. Для совершенствования предложенного способа необходимы экспериментальные исследования различных грунтов.

3. Предложен способ расчета НДС с учетом ползучести грунта, основанный на наследственной теории ползучести. Аналогичный алгоритм может быть применен для моделирования просадок грунтов.

4. Созданная методика расчетов НДС грунтовых сооружений позволяет учитывать все основные нелинейные эффекты деформирования грунтов. Она включает в себя использование итерационного процесса. Сформулированы рекомендации по обеспечению сходимости итерационного процесса.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сорока В. Б., Саинов М. П., Королев Д. В. Каменно-набросные плотины с железобетонным экраном: опыт исследований напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 207—224.
2. Arici Y. Investigation of the cracking of CFRD face plates // Computers and Geotechnics. 2011. Vol. 38. Iss. 7. Pp. 905—916.

3. Bin Xu, Degao Zou, Huabei Liu. Three-dimensional simulation of the construction process of the Zipingpu concrete face rockfill dam based on a generalized plasticity model // *Computers and Geotechnics*. 2012. Vol. 43. Pp. 143—154.
4. Wu Y., Zhang J. W., Wang C. Time-dependent deformation and stress analyses of Xibeikou concrete face rockfill dam // *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2014. Vol. 19. Bund R. Pp. 6739—6747.
5. Özkuzukiran S., Özkan M. Y., Özyazicioğlu M., Yildiz G. S. Settlement behaviour of a concrete faced rock-fill dam // *Geotechnical and Geological Engineering*. 2006. Vol. 24. Iss. 6. Pp. 1665—1678.
6. Орехов В. В., Орехов М. В. Использование модели упрочняющегося грунта для описания поведения песка различной плотности при нагружении // *Вестник МГСУ*. 2014. № 2. С. 91—97.
7. Ye Zhu, Lu Lu. Nonlinear static analysis of Shuibuya dam in China — World's Highest CFRD // *Geotechnical Engineering*. 2016. № 21(04). Pp. 1527—1537.
8. Zhang B., Wang J.G., Shi R. Time-dependent deformation in high concrete-faced rockfill dam and separation between concrete face slab and cushion layer // *Computers and Geotechnics*. 2004. № 31(7). Pp. 559—573.
9. Орехов В. В. Прогнозное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин и массивов // *Вестник МГСУ*. 2006. № 1. С. 69—72
10. Владимиров В. В., Зарецкий Ю. К., Орехов В. В. Математическая модель мониторинга каменно-земляной плотины гидроузла Хоабинь // *Гидротехническое строительство*. 2003. № 6. С. 47—52.
11. Зарецкий Ю. К. Лекции по современной механике грунтов. Ростов-на-Дону : Ростовский университет, 1989. 608 с.
12. Рассказов Л. Н., Джжа Дж. Деформируемость и прочность грунта при расчете высоких грунтовых плотин. *Гидротехническое строительство*. 1987. № 7. С. 31—36.
13. Орехов В. В. Комплекс вычислительных программ «Земля-89» // *Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований : межвузовский сборник*. Новочеркасск, 1990. С. 14—20.
14. Саинов М. П. Вычислительная программа по расчету напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин: опыт создания, методики и алгоритмы // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2013. Т. 9. № 4. С. 208—225.
15. Саинов М. П. Параметры деформируемости крупнообломочных грунтов в теле грунтовых плотин // *Строительство: наука и образование*. 2014. № 2. С. 2.
16. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 541 с.
17. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и методы конечных элементов. М. : Стройиздат, 1982, 448 с.
18. Хечумов Р. А., Кеплер Х., Прокопьев В. И. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций : учеб. пособие / под общ. ред. Р. А.Хечумова. М. : АСВ, 1994. 353 с.
19. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости / Пер. с англ. М. : Наука, 1975. 576 с.
20. Rascoe K. H., Schofield A. N., Wroth C. P. Oh the yielding of soils. *Geotechnique*. 1958. № 8(1). Pp. 22—53.
21. Гольдин А. Л., Рассказов Л. Н. Проектирование грунтовых плотин : учеб. пособие. М. : Энергоатомиздат, 1987. 204 с.
22. Иоселевич В. А., Рассказов Л. Н., Сысоев Ю. М. Об особенностях развития поверхностей нагрузки при пластическом циклическом уплотнении грунтов // *Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела*. 1979. № 2. С. 155—161.
23. Саинов М. П. Алгоритм учета ветвей нагружения грунта при расчетах напряженно-деформированного состояния // *Научное обозрение*. 2017. № 5. С. 28—32.
24. Zhou M.-Z., Zhang B., Jie Y. Numerical simulation of soft longitudinal joints in concrete-faced rockfill dam. *Soils and Foundations*. 2016. № 56(3). Pp. 379—390.
25. Zhang B., Wang, J. G., Shi R. Time-dependent deformation in high concrete-faced rockfill dam and separation between concrete face slab and cushion layer // *Computers and Geotechnics*. 2004. № 31. Pp. 559—573.

© Саинов М. П., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Саинов М. П. Методика моделирования нелинейного деформирования грунтов плотины // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 20—36.

*Об авторе:*

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

**Mikhail P. Sainov**

**Moscow State University of Civil Engineering**

## **METHODOLOGY OF MODELING NON-LINEAR DEFORMATION OF DAM SOILS**

Description is made of main provisions of stress-strain state analysis of an earth structure which permits consideration of all important manifestations of soil medium deformation non-linearity, such as strain variation for loading branches, plasticity, dilatancy, creep, possible failure at tension. The methodology is based on the deformation plasticity theory envisaging the possibility of scalar writing of the relationship between stress increments and deformation increments. There given the formulae put in the calculation basis. The proposed methodology permits providing the required accuracy of calculations and avoid bifurcation in solving a non-linear task.

**Key words:** embankment dam, stress-strain state, numerical modeling, methodology of modeling, iterative method, creep.

*For citation:*

Sainov M. P. [Methodology of modeling non-linear deformation of dam 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], 2019, iss. 2, pp. 20—36.

*About author:*

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

УДК 624.131

**А. И. Субботин, М. Н. ШUTOва, А. И. Шагина**

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

## **АНАЛИЗ СПЕЦИФИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНОГО АРМИРОВАНИЯ В ФУНДАМЕНТАХ ВОЗВОДИМЫХ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ**

Статья посвящена оценке эффективности применения композитного армирования при проектировании фундаментов нового строительства и реконструкции. Для оценки специфики выполнено вариантное проектирование свайного фундамента возводимого двухэтажного жилого дома и обоймы уширения при реконструкции здания гостиницы. Основные конкурирующие варианты — металлическое и стеклопластиковое армирование. Расчетами для свайного фундамента выявлено, что установленная производителем зависимость «равнопрочной» арматуры не соответствует требованиям по ширине раскрытия трещин для стеклопластиковой арматуры. Рекомендовано применение стеклопластикового армирования в комбинации с металлической арматурой для армирования ростверков возводимых зданий. При реконструкции путем уширения подошвы фундамента рекомендовано применение стеклопластиковой арматуры из-за значительного экономического эффекта.

**Ключевые слова:** ростверк, реконструкция зданий, стеклопластиковая арматура, композитная арматура, ширина раскрытия трещин ростверка, уширение фундаментов.

В настоящее время в строительной индустрии РФ значительное развитие получил новый композиционный материал — композитная арматура. Следует отметить, что исследованием композитной арматуры и совершенствованием методов ее расчета в Советском Союзе занимались такие ученые, как О. Я. Берг, А. А. Гвоздев, И. Ахвердов, Л. С. Фриман и другие. Однако в массовое применение в то время разработки не пошли. Заводским производством с середины 70-х гг. прошлого века занимаются заводы в США и Канаде. Производство отечественной композитной арматуры (АКП) массово началось в начале 2000-х годов, при этом производители пользовались собственными техническими условиями (ТУ). Государственное регулирование в этой сфере привело к введению в 2014 г. ГОСТа на композитную арматуру<sup>1</sup>.

При этом первоначально расчет конструкций, армированных АКП, проводился по тем же расчетным выкладкам, что и для железобетонных конструкций<sup>2</sup>. В связи с этим производители в своих рекомендациях<sup>3</sup> предлагают «равнопрочную» замену исходя из значений предела прочности при растяжении. Так как предел прочности у АКП должен быть не ниже 800 МПа (согласно табл. 4 ГОСТ 31938—2012), то производители утверждают, что АКП более чем в два раза прочнее арматуры класса А-400.

В 2015 году вышло изменение нормативного документа для расчета железобетонных конструкций, учитывающее специфику расчетов конструкций

<sup>1</sup> ГОСТ 31938—2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2013.

<sup>2</sup> СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01—2003. М., 2013. 76 с.

<sup>3</sup> ТУ 2296-001-60722703—2010. Арматура стеклопластиковая «АРМАСТЕК». Н. полимер, 2010. 54 с.

с АКП (приложение Л в СП 63.13330.2012). Даже вышедшее приложение не решило вопроса с расчетом АКП по нелинейной деформационной модели.

Существенные ограничения коснулись и применения АКП по прочности. Так, расчетное значение сопротивления растяжению  $R_f$  АКП определяют по формуле:

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot R_{f,n}}{\gamma_f}, \quad (\text{Приложение Л. 1 СП 63.13330.2012})$$

где  $\gamma_f$  — коэффициент надежности по материалу, принимаемый при расчете по предельным состояниям второй группы равным 1,0, а при расчете по предельным состояниям первой группы — равным 1,5;  $\gamma_{f1}$  — коэффициент, учитывающий условия эксплуатации конструкций с АКП, принимаемый для АКП на открытом воздухе равным 0,7.

Таким образом, расчетное значение сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры должно быть не менее  $800 \cdot 0,7/1,5 = 373$  МПа, что примерно соответствует аналогичной характеристике для арматуры А-400. При разнице в значении модуля упругости в 4 раза (для арматурной стали  $E_s = 2 \cdot 10^8$  Па, для АСК  $E_s \geq 5 \cdot 10^7$  Па) предлагаемая производителями «равнопрочная» замена стальной арматуры на стеклопластиковую не является адекватной даже по расчетным положениям.

В то время как нормативная база по АКП в России только начинает формироваться, в Канаде нормативные документы на изготовление и использование АКП были введены в 1996 г.<sup>4</sup>, в Европе — в 1997 г.<sup>5</sup>

Теме применения и расчета АКП в последнее время уделяется повышенное внимание. Исследование работы стеклопластиковой и углепластиковой арматуры в конструкциях, соприкасающихся с морской водой (причалные конструкции, дамбы и пр.), провела группа ученых под руководством З. Вонга [1, 2]. Для определения характера разрушения арматурных стержней были использованы метод электронной микроскопии и инфракрасная спектроскопия. Сделан прогноз о деградации свойств АКП.

М. Коэн, А. Монтепоне, С. Потапенко провели численный эксперимент с расчетом конечно-элементной модели балки, армированной АКП, с моделированием сцепления арматуры с бетоном и появления трещин [3]. Коллектив под руководством Е. О. Ибар провел расчет в нелинейной стадии работы материала балки, армированной АКП [4].

Подход к эффективности применения базальтокомпозитного армирования с точки зрения экологии применили в своей работе [5] М. Инман, Е. Торальссон, К. Ацраг.

Испытание центрально и внецентренно сжатых колонн, армированных АСК, провели М. Эльгаланакки [6] Г. Динг [7]. По результатам испытаний, 17 опытных образцов на различные типы нагружения не рекомендовано применять АСК в сжатых участках конструкции.

<sup>4</sup> CAN/CSA-S806-02. Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers. Ottawa, 1996. 132 p.

<sup>5</sup> Recommendation For Design And Construction Of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials. Tokyo, 1997.

Авторами работы [8] установлено по испытаниям 216 опытных образцов с АСК, что фактические напряжения в конструкциях значительно отличаются от расчетных.

Для анализа эффективности применения разных видов АКП проводятся независимые исследования и опыты и в России. Так, И. В. Римшин и С. И. Меркулов установили, что с увеличением диаметра арматурных стержней от 5 до 10 мм одного и того же производителя прочность арматуры при растяжении в отдельных случаях уменьшается на 35 % [9].

Группа ученых РГСУ [10] установила, что балки, армированные АКП, на 20 % менее прочные, чем эталонные железобетонные конструкции. Деформации балок, армированных АКП, в два раза превышают деформации эталонных в стадии появления трещин, предшествующей разрушению.

Выявлено, что расчетная прочность балок с АКП завышена в 1,66 раза по сравнению с экспериментальными данными.

А. Д. Рахмонов и Н. П. Соловьев, проанализировав возможности применения АКП, предложили схему комбинированного армирования горизонтальных изгибаемых конструкций: в качестве верхней и конструктивной арматуры применяется АБК, нижней — стальная арматура. Установлено, что комбинированное армирование балок позволяет снизить стоимость и трудоемкость изготовления до 27 % [11].

Для оценки эффективности применения композитного армирования было проведено вариантное проектирование фундаментов индивидуального жилого дома при строительстве и фундаментов здания гостиницы при реконструкции.

#### **Анализ эффективности применения АКП при строительстве здания**

Для анализа эффективности применения АКП в строящихся объектах выбран частный двухэтажный дом, возводимый в г. Ростове-на-Дону. Всего застройщиком строится на участке пять одинаковых таунхаусов (рис. 1).



Рис. 1. Визуализация проекта по строительству таунхаусов

Район характеризуется следующими климатическими характеристиками: снеговой район — II (нормативный вес снегового покрова 1,0 кПа), ветровой район — III (нормативное давление ветра 0,38 кПа), расчетная сейсмичность площадки строительства — 6 баллов.

По результатам инженерно-геологических изысканий были вскрыты следующие слои:

Слой Н. Насыпной грунт (tQIV) — суглинок темно-бурый, твердый, с включением гравия, битого кирпича и прочим строительным мусором 40 %. Мощность от 0,8 до 4,4 м. Насыпной грунт отсыпан непланомерно. Основанием для фундаментов служить не может.

ИГЭ-1. Мощность слоя от 1,2 до 3,3 м. Суглинок (dpQIII) светло-бурый, тяжелый, пылеватый, твердый, при водонасыщении — мягкопластичный, сильнопросадочный (I тип грунтовых условий по просадочности), при природной влажности — среднедеформируемый. Просадка грунта от собственного веса составляет 3,35 см. Основные физико-механические свойства:  $\rho = 1,73 \text{ г/см}^3$ ,  $E = 20,8/7,0 \text{ МПа}$ ,  $C = 18,9 \text{ кПа}$ ,  $\varphi = 20,2 \text{ град}$ .

ИГЭ-2. Мощность слоя от 4,3...8,1 до 5,0...9,0. Известняк-ракушечник (aN2p) желто-белый, сильно выветрелый, трещиноватый, с прослоями 1...3 см кальцитизированного материала мало- и среднечного. Основные физико-механические свойства:  $\rho = 2,34 \text{ г/см}^3$ ,  $R_c = 6,8 \text{ МПа}$ .

Подземные воды, агрессивные к металлу, находятся на глубине 3,8 м и имеют сезонное колебание 2 м.

Объект представляет собой двухэтажное здание, габаритные размеры в плане —  $13,52 \times 8,34$ . Стены внешние и внутренние состоят из керамического блока Rogomax, снаружи обложенные облицовочным кирпичом.

Перекрытия между первым и вторым этажом в домах сборные железобетонные многопустотные плиты ПК 38-12-8 по серии 1.141.1.

Стропильная система — деревянная. Кровля — щипцовая, сложная в плане. Покрытие кровли — франкфуртская цементно-песчаная черепица.

Стены подземной части выполнены из сборных железобетонных блоков по ГОСТ 5781—82 высотой 600 мм, толщиной 500 мм для внешних стен и 300 мм для внутренних. Поверх блоков стен подвала выполнен выравнивающий монолитный пояс толщиной 300 мм.

При проектировании фундаментов дома были учтены следующие особенности, влияющие на выбор типа фундамента:

высокий уровень грунтовых вод, их агрессивность по отношению к металлической арматуре (сезонное колебание УГВ до 2 м, УГВ на момент проведения инженерно-геологических изысканий на уровне 3,8 м);

возможность проявления оползневых процессов;

недостаточная изученность и анизотропность свойств насыпного слоя, значительная мощность насыпного слоя, исключающая его замену;

просадочность слоя ИГЭ-1.

В связи с этим в качестве оптимального варианта фундаментов был принят фундамент свайный из буронабивных свай. Длина свай составляет 5 м и 7 м, рассчитана таким образом, чтобы заглубление осуществлялось в слой известняка ИГЭ-2 не менее 500 мм для передачи нагрузки на скальный грунт. Толщина ростверка — 300 мм. Сваи выполняются буронабивными диаметром 300 мм (рис. 2).

Для индивидуального домостроения критерий цены зачастую играет решающую роль. В связи с этим было проведено экономическое сравнение затрат на армирование фундамента в случае применения металлической и композитной арматуры фирмы «Армпласт». Согласно приведенным производителем данным по условной замене арматуры по физико-механическим свойствам были проведены следующие замены арматуры:  $\varnothing 14 \text{ А-400}$  на  $\varnothing 10$

АКС,  $\phi 10$  А-400 на  $\phi 8$  АКС,  $\phi 10$  А-400 на  $\phi 7$  АКС,  $\phi 8$  А-400 на  $\phi 6$  АКС. Стоимость стальной арматуры по текущим ценам г. Ростова-на-Дону составляет 68 660 руб., стоимость АКС составляет 31 118 руб. Экономия составляет 2,2 раза. При этом железобетонные конструкции должны удовлетворять требованиям по безопасности, по эксплуатационной пригодности, по долговечности, а также дополнительным требованиям, указанным в задании на проектирование [3].

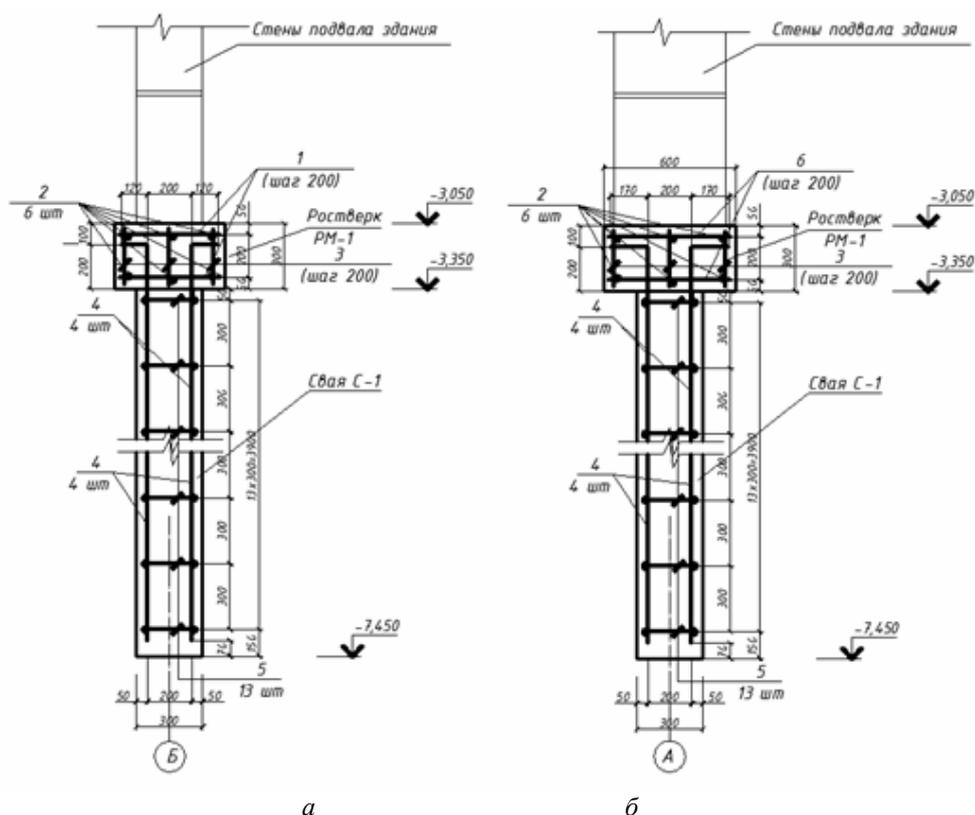


Рис. 2. Схема армирования: а — сваи под крайнюю стену; б — сваи под среднюю стену

Расчеты должны обеспечивать надежность зданий или сооружений в течение всего срока их службы, а также при производстве работ в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ним.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают: расчет по прочности, расчет по устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплывание). Расчеты по предельным состояниям второй группы включают: расчет по образованию трещин, расчет по раскрытию трещин, расчет по деформациям.

Для расчета железобетонного ростверка были собраны нагрузки на 1 м. п. ростверка. Были учтены следующие нагрузки согласно СП 20.13330.2016<sup>6</sup>: постоянные, временные, длительные, кратковременные.

<sup>6</sup> СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. М. : Стандартинформ, 2016.

Нагрузка на 1 м. п. ростверка под внутреннюю стену составила 76,97 кН/м, нагрузка на 1 м. п. ростверка под внешнюю стену составила 78,61 кН/м. Несущая способность сваи, работающей на вертикальную нагрузку, составила 445,43 кН.

Тогда для внутренней стены необходимое максимальное расстояние между сваями: под внутреннюю стену  $445,43/76,97 = 5,79$  м; под внешнюю стену  $445,43/78,61 = 5,66$  м.

Исходя из требований СП 24.13330.2011<sup>7</sup> минимальное расстояние между сваями равно 1,5 $\phi$  свай (450 мм), минимальное расстояние между стволами свай должно составлять не менее метра.

Шаг свай принимаем конструктивно, максимальный шаг свай по расчету 1,6 м (меньше 5,79 м). Осадка сваи минимальна (5,01 мм), что допустимо для фундаментов данного типа.

Расчет проводится по следующим критериям:

1. Прочность по предельному моменту сечения из условия

$$M < M_{ult},$$

где  $M$  — изгибающий момент от внешней нагрузки;  $M_{ult}$  — предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением элемента (п. 7.8 СП 63.13330.2012).

2. Расчет нормальных сечений железобетонных элементов по прочности производят из условий:

$$|\varepsilon_{b,max}| \leq \varepsilon_{b,ult} \quad (\text{п. 8.37 СП 63.13330.2012});$$

$$\varepsilon_{s,max} \leq \varepsilon_{s,ult} \quad (\text{п. 8.38 СП 63.13330.2012}),$$

где  $\varepsilon_{b,max}$  — относительная деформация наиболее сжатого волокна бетона в нормальном сечении элемента от действия внешней нагрузки;  $\varepsilon_{s,max}$  — относительная деформация наиболее растянутого стержня арматуры в нормальном сечении элемента от действия внешней нагрузки;  $\varepsilon_{b,ult}$  — предельное значение относительной деформации бетона при сжатии;  $\varepsilon_{s,ult}$  — предельное значение относительной деформации удлинения арматуры, принимаемое для металлической арматуры равным 0,025, для АСК — 0,015.

3. Расчет по раскрытию трещин производят из условия:

$$\alpha_{crc} \leq \alpha_{crc,ult} \quad (\text{п. 8.118 СП 63.13330.2012}),$$

где  $\alpha_{crc}$  — ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки;  $\alpha_{crc,ult}$  — предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

Расчет железобетонных элементов следует производить по продолжительному и по непродолжительному раскрытию нормальных и наклонных трещин.

Согласно табл. Ж4 СП<sup>8</sup> предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин — 0,20 мм, продолжительного — 0,15 мм для метал-

<sup>7</sup> СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03—85. М. : Стандартинформ, 2011.

<sup>8</sup> СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11—85. М. : Стандартинформ, 2016.

лической арматуры класса А-400 и ненормированная для АСК. Согласно п. Л. 3 прил. Л СП 63.13330.2012 ширина раскрытия трещин для АСК равна 0,5 мм — при продолжительном раскрытии трещин, а также при непродолжительном раскрытии трещин при эксплуатации конструкций в среде с повышенной влажностью (эксплуатация на открытом воздухе или в грунте) и в агрессивной среде.

4. Расчет изгибаемых железобетонных элементов по бетонной полосе между наклонными сечениями производят из условия:

$$Q \leq \varphi_{b1} R_b b h_0, \quad (\text{п. 8.55 СП 63.13330.2012})$$

где  $Q$  — поперечная сила в нормальном сечении элемента;  $\varphi_b$  — коэффициент, принимаемый равным 0,3.

5. Расчет изгибаемых элементов по наклонному сечению производят из условия:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (\text{п. 8.56 СП 63.13330.2012})$$

где  $Q$  — поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции  $S$  на продольную ось элемента, определяемая от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения; при этом учитывают наиболее опасное нагружение в пределах наклонного сечения;  $Q_b$  — поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;  $Q_{sw}$  — поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в наклонном сечении.

6. Расчет железобетонных элементов по деформациям производят из условия, по которому прогибы или перемещения конструкций  $f$  от действия внешней нагрузки не должны превышать предельно допустимых значений прогибов или перемещений  $f_{ult}$ :

$$f \leq f_{ult} \quad (\text{п. 5.4 СП 63.13330.2012}).$$

Расчетная схема — балка, работающая на изгиб, жестко защемленная с концов. Пролет балки — 1,6 м. Для наиболее нагруженного ростверка (под внешнюю стену):

$$\text{поперечная сила на опоре } Q = \frac{q_{\text{вн}} \cdot l}{2} = \frac{78,61 \cdot 1,6}{2} = 62,88 \text{ кН};$$

$$\text{изгибающий момент на опоре } M_1 = \frac{q_{\text{вн}} \cdot l^2}{12} = 16,77 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\text{изгибающий момент в середине пролета } M_2 = \frac{q_{\text{вн}} \cdot l^2}{24} = 8,39 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

В результате расчета определено, что армирование из металлической арматуры и из АКП более чем в два раза удовлетворяет по следующим требованиям: прочность по предельному моменту сечения; деформации в сжатом бетоне; деформации в растянутой арматуре; прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями; прочность по наклонному сечению; прогиб.

Однако по ширине раскрытия трещин значительный запас только для конструкций с металлической арматурой (коэффициент использования  $n_i$  для кратковременной ширины — 0,432, для долговременной — 0,537), кратковременная ширина раскрытия трещин конструкций с АКП близка к предель-

ной ( $n_n = 0,96$ ), а длительная ширина раскрытия трещин конструкций с АКП больше предельно допустимой ( $n_n = 1,28$ ).

Поэтому нижний ряд армирования был заменен на  $\phi 14$  АСК. С учетом замены длительная ширина раскрытия трещин равна  $0,43$  мм, коэффициент использования  $0,43/0,5 = 0,86$ .

В связи с заменой стоимость АСП возросла до  $44\ 210$  руб., экономия от применения составила  $1,55$  раза ( $55\%$ ).

#### **Анализ эффективности применения АКП при реконструкции здания**

При проведении проектирования реконструкции необходимо выполнять проверку оснований по несущей способности.

Расчет оснований фундаментов по деформациям для реконструируемых сооружений проводят исходя из условия:

$$s_{ad} \leq s_{ad,u} \quad (\text{п. 5.40 СП 22.13330.2016}^9)$$

где  $s_{ad}$  — дополнительная осадка основания фундамента (совместная дополнительная деформация основания и сооружения), определяемая в соответствии с требованиями п. 5.6 СП 22.13330.2016 с учетом совокупности техногенных воздействий, связанных с увеличением (снижением) нагрузки на основание, технологии и последовательности строительных работ;  $s_{ad,u}$  — предельное значение дополнительной осадки основания фундамента (предельное значение совместной дополнительной деформации основания и сооружения), устанавливаемое при проектировании реконструкции в соответствии с категорией технического состояния сооружения (приложение Д) и с учетом требований пп. 5.6.46—5.6.48 СП 22.13330.2016.

В качестве строительного объекта для анализа эффективности применения стеклопластикового армирования на стадии реконструкции здания было принято здание недостроенной гостиницы в г. Новочеркасске.

Грунтами основания являются суглинки желто-бурого цвета, гумусированные, в кровле слоя пронизаны корнями и корнеходами, тяжелые, пылеватые, твердой консистенции, просадочные, макропористые (I тип грунтовых условий по просадочности). Характеристики грунта:  $\rho_n = 1,73$  г/см<sup>3</sup>;  $E_{n\text{ сух}} = 15,8$  МПа;  $E_{n\text{ вод}} = 5,9$  МПа,  $\varphi_n = 13,80$ ;  $C_n = 14,0$  МПа.

Основными работами по реконструкции являются надстройка мансардного этажа, перепланировка существующих помещений, а также запроектирована вторая лестница. При расчете фундаментов реконструируемого здания на изменившиеся нагрузки (собраны аналогично с предыдущим расчетом) было выявлено, что все фундаменты, за исключением фундамента под лестничную клетку по оси В (рис. 3), удовлетворяют требованиям нормативной документации.

Результаты расчета фундаментов реконструируемого здания сведены в табл. 1.

Расчет относительной разности осадок в случае неравномерного замачивания грунтов основания: вариант 1 (расчетный случай — замочены грунты половины здания от оси 3' до оси 5, а грунты половины от оси 1 до оси 3' естественной влажности), вариант 2 (расчетный случай — замочены грунты половины здания от оси 3' до оси 1, а грунты половины от оси 5 до оси 3' естественной влажности) приведен в табл. 2.

<sup>9</sup> СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. М. : Стандартинформ, 2016.

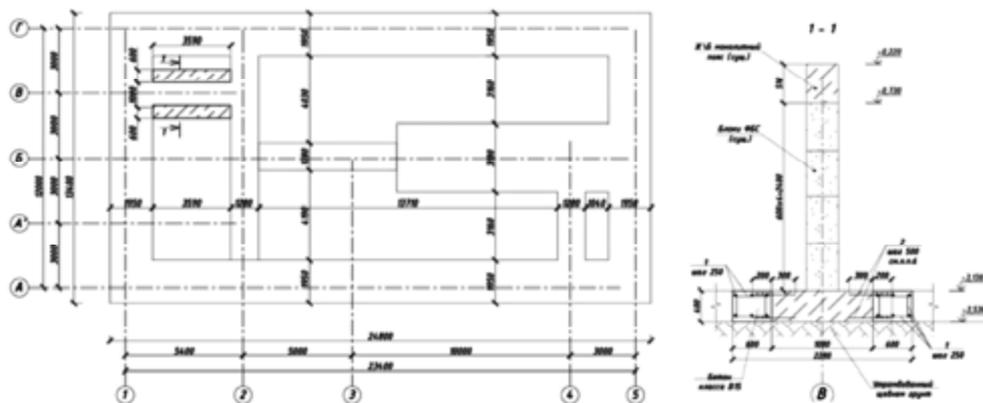


Рис. 3. Схема усиления фундамента по оси В

Таблица 1

*Результаты расчета фундамента*

Вид конструкции	Расположение в осях	Деформации, мм			Расчетное сопротивление, МПа	Среднее давление по подошве, МПа	Требования по усилению
		Осадка	Просадка	Сумма осадки и просадки			
Стена	А	13,9	67,4	81,3	0,201	0,191	Не требуется
<b>Стена</b>	<b>В</b>	<b>16,5</b>	<b>117,8</b>	<b>134,3</b>	<b>0,201</b>	<b>0,257</b>	<b>Требуется</b>
Колонна	Б 3	18,3	70,7	89,0	0,203	0,172	Не требуется
Стена	Б	12,8	46,0	58,8	0,201	0,158	Не требуется

Таблица 2

*Результаты расчета разности осадки фундамента*

Вариант	Расположение фундамента	S, мм	Расположение фундамента	S, мм	$\Delta s/L$
1	Стена, ось Г	13,9	Стена, ось Г	81,3	0,0024
	Стена, ось В	16,5	Стена, ось Г	81,3	0,0023
	Колонна, оси А'х2	13,9	Стена, ось Г	81,3	0,0024
2	Стена, ось Г	81,3	Стена, ось Г	13,9	0,0024
	<b>Стена, ось В</b>	<b>134,3</b>	<b>Стена, ось Г</b>	<b>13,9</b>	<b>0,0054</b>
	Колонна, оси А'х2	49,3	Стена, ось Г	13,9	0,0020

Фундамент под стену по оси В не удовлетворяет в части:

давление по подошве превышает расчетное сопротивление грунта;

относительная разность осадок между участками фундамента при неравномерном замачивании грунта больше предельно допустимого значения.

В связи с этим производится усиление фундаментов до значения ширины подошвы 2,2 м.

Относительная разность осадок для точек на фундаменте под стену В (80,65 мм) и для точек на фундаменте под стену Г (13,9 мм) составит 0,0024,

что не превышает предельно допустимого значения. Среднее давление от нагрузок в уровне подошвы фундамента составляет 0,19 МПа и не превышает расчетное сопротивление грунта 0,201 МПа.

Стоимость материалов для усиления железобетонными обоймами по схеме усиления согласно рис. 3 (основное армирование — стержни  $\varnothing 25$  А-400) на основе данных открытой оферты составляет:

$$S_{\text{мат}} = 1,73 \cdot 3150 + 51 \cdot 3,85 \cdot 40,3 + 0,5 \cdot 3150 = 14\,938 \text{ руб.}$$

При равнопрочной замене металлического армирования на стеклопластиковое (без учета ширины раскрытия трещин, диаметр АКП — 18 мм).

Стоимость материалов для усиления бетонными обоймами со стеклопластиковой арматурой по схеме усиления согласно рис. 4 на основе данных открытой оферты составляет:

$$S_{\text{мат}} = 1,73 \cdot 3150 + 51 \cdot 70 + 0,5 \cdot 3150 = 10\,594 \text{ руб.}, \text{ что на } 41 \% \text{ дешевле варианта с металлической арматурой.}$$

**Выводы.** Стеклокомпозитное армирование целесообразно применять при новом строительстве в ростверках свайных фундаментов в случаях, когда грунтовые воды по химическому составу агрессивны к металлической арматуре; нагрузка на фундаменты относительно невелика («легкие» несущие стены из пеноблока или из керамического блока, небольшие пролеты перекрытий, этажность 1-2 этажа); небольшой шаг свай.

Основным критическим параметром является ширина раскрытия трещин (из-за малого модуля упругости АСК) при условии выполнения требований приложения Л ТУ 2296-001-60722703—2010. Наиболее оптимальным является вариант комбинированной арматуры: нижние стержни из металлической арматуры, верхнее основное и конструктивное армирование из АСК.

При реконструкции строительных объектов АСК рекомендуется применять в ненагруженной обойме, устраиваемой для уширения подошвы фундамента, для предотвращения развития сверхнормативных вертикальных деформаций.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wang Z. Durability study on interlaminar shear behaviour of basalt-, glass- and carbon-fibre reinforced polymer (B/G/CFRP) bars in seawater sea sand concrete environment // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 156. Pp. 985—1004.
2. Wang Z. et al. Effect of sustained load and seawater and sea sand concrete environment on durability of basalt- and glass-fibre reinforced polymer (B/GFRP) bars // Corrosion Science. 2018. Vol. 138. Pp. 200—218.
3. Cohen M., Monteleone A., Potapenko S. Finite element analysis of intermediate crack debonding in fibre reinforced polymer strengthened reinforced concrete beams // Civil Engineering. 2018. Vol. 45. № 10. Pp. 840—851.
4. Ibars E. O. Numerical analysis of reinforced concrete beams strengthened in shear by externally bonded (EB) fibre reinforced polymer (FRP) sheets // Hormigón y Acero. 2018. Vol. 69. №. 285. Pp. 113—120.
5. Inman M., Thorhallsson E. R., Azrague K. A. Mechanical and environmental assessment and comparison of basalt fibre reinforced polymer (BFRP) rebar and steel rebar in concrete beams // Energy Procedia. 2017. Vol. 111. Pp. 31—40.
6. Elchalakani M., Ma G. Tests of glass fibre reinforced polymer rectangular concrete columns subjected to concentric and eccentric axial loading // Engineering Structures. 2017. Vol. 151. Pp. 93—104.

7. *Ding B.* Axial Compression Tests on Corroded Reinforced Concrete Columns Consolidated with Fibre Reinforced Polymers // *Kemija u Industriji*. 2017. Vol. 66.

8. *Hossain K. M. A., Ametrano D., Lachemi M.* The bond between glass-fibre-reinforced polymer bars and ultra-high-strength concrete : proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials. 2017. Pp. 1—16.

9. *Римшин В. И., Меркулов С. И.* О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 5. С. 22—26.

10. О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда / П. П. Польской и др. // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 4.

11. *Рахмонов А. Д., Соловьев Н. П.* Предложения по применению композитной арматуры в каркасах зданий // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2013. № 5(33).

© *Субботин А. И., Шутова М. Н., Шагина А. И.*, 2019

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Субботин А. И., Шутова М. Н., Шагина А. И.* Анализ специфики использования композитного армирования в фундаментах возводимых и реконструируемых зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 2(75). С. 37—48.

*Об авторах:*

**Субботин Анатолий Иванович** — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; spru\_pr@mail.ru

**Шутова Марина Николаевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; subbotin\_ai@mail.ru

**Шагина Анна Игоревна** — аспирант кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, polyu-anna@yandex.ru

**Anatolii I. Subbotin, Marina N. Shutova, Anna I. Shagina**

**Platov South-Russian State Polytechnic University**

## **ANALYSIS OF SPECIFICS OF COMPOSITE REINFORCING USE IN THE FOUNDATION OF BUILT AND RECONSTRUCTED BUILDINGS**

Article is devoted to assessment of efficiency of application of composite reinforcing at design of the bases at new construction and reconstruction. For assessment of specifics alternative design is executed: the pile base of the built two-storeyed house; and broadening holders at reconstruction of the building of hotel. The main competing options — metal and fiberglass reinforcing. By calculations for the pile base it is revealed that the dependence of “full-strength” fittings established by the producer does not conform to requirements for width of disclosure of cracks for fiberglass fittings. Application of fiberglass reinforcing in a combination with metal fittings for reinforcing of grillages of the built buildings is recommended. At reconstruction by broadening of a sole of the base use of fiberglass fittings because of considerable economic effect is recommended.

**Key words:** grillage, reconstruction of buildings, fiberglass fittings, composite fittings, width of disclosure of cracks of a grillage, broadening of the bases.

*For citation:*

Subbotin A. I., Shutova M. N., Shagina A. I. [Analysis of specifics of composite reinforcing use in the foundation of built and reconstructed 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], 2019, iss. 2, pp. 37—48.

*About authors:*

**Anatolii I. Subbotin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; spu\_pr@mail.ru

**Marina N. Shutova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation, subbotin\_ai@mail.ru

**Anna I. Shagina** — Postgraduate student of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation, polyu-anna@yandex.ru

УДК 624.04:519.6

А. В. Игнатьев, М. И. Бочков, С. Ю. Иванов

Волгоградский государственный технический университет

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА БАЛОК С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ НА ДЕЙСТВИЕ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ МКЭ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА

В статье приведен алгоритм построения линий влияния конструктивно-нелинейных балок. Задача рассчитывается по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода. Приведен численный пример построения линии влияния изгибающего момента для многопролетной неразрезной балки с односторонними связями.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов в форме классического смешанного метода; конструктивная нелинейность; односторонние связи; многопролетная неразрезная балка; движущаяся нагрузка.

Расчет систем на движущуюся нагрузку широко распространен в области расчета мостовых конструкций [1—3]. Для такого рода конструкций во многих случаях возникает необходимость учета временных подвижных нагрузок и наличие в них односторонних связей.

Расчет систем с односторонними связями является одним из наиболее распространенных типов конструктивно-нелинейных задач [4—8]. Алгоритм решения на основе МКЭ в форме классического смешанного метода [9, 10] разработан и верифицирован в [11, 12]. В данной работе излагается алгоритм, адаптированный к расчету систем на подвижную нагрузку.

Особенностью расчета любой конструктивно-нелинейной системы является изменение ее рабочей расчетной схемы в зависимости от величины нагрузки и от ее расположения в системе. Таким образом, расчетная рабочая

схема будет постоянно меняться при перемещении нагрузки. Продемонстрируем это на рис. 1. Зазор  $\Delta_3$  под действием силы  $R_1$ , приложенной в середине пролета, не закрывается (рис. 1, а). Добиться закрытия односторонней связи возможно при двух вариантах: увеличив величину действующей нагрузки (рис. 1, б, в) или переместив нагрузку в сторону односторонней связи (рис. 1, г).

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что линии влияния усилий в заданном сечении балки должны изменяться на каждом

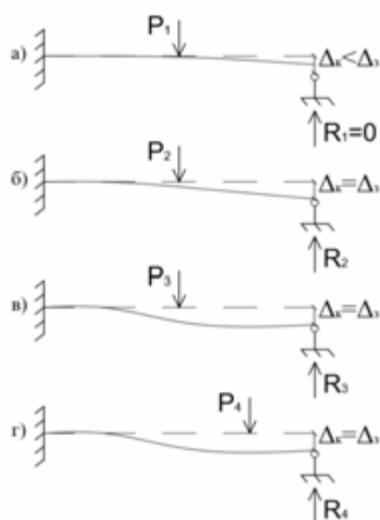


Рис. 1. Односторонняя связь по действием движущейся нагрузки

условном шаге воздействия нагрузки с одновременным отслеживанием величин реакции на односторонних опорах и величин зазоров.

На сегодняшний день широко распространен численный итерационный метод решения такого рода задач, основанный на МКЭ в форме метода перемещений [13—15].

На основании вышеизложенного, а также с учетом алгоритмов, изложенных в [11, 12], приведем алгоритм построения линий влияния усилий в многопролетной, конструктивно-нелинейной балке.

1. Выполняется конечно-элементный расчет балки с двусторонними опорами, и линейные смещения (прогибы) находятся в узлах конечных элементов.

2. Для узлов, в которых поставлены упругие опоры и задана величина зазора, находятся величины прогибов  $w$ , а для надопорных узлов величины реакций  $R_i$ .

3. Выполняется анализ этих результатов:

а) если реакция в какой-либо из опорных связей совпадает по направлению с нагрузкой в этом узле, т. е.  $R_{i0} \leq 0$ , то эта связь из расчетной рабочей схемы следующей итерации исключается;

б) если в узлах, где имеются упругие связи с зазорами, разность между перемещениями и зазорами  $\Delta w_i = (w_i - \Delta_i) \geq 0$ , то эта упругая связь включается в рабочую схему следующей итерации.

4. На основе анализа принимается рабочая расчетная схема второй итерации и выполняется расчет, в результате которого проверяется выполнение условий а) и б), при которых принятая рабочая схема остается неизменной:

а)  $\Delta w_{i0} < 0$ , т. е. перемещения узлов по направлению исключенных опорных связей не приводит к их включению в рабочую схему следующей итерации;

б)  $R_{i0} < 0$ .

5. Если эти условия для какого-либо конкретного узла не выполняются, то соответствующая исключенная связь снова включается и учитывается в рабочей схеме следующей итерации. Итерационные циклы повторяются до совпадения рабочих расчетных схем на  $k$ -й и  $(k + 1)$ -й итерациях.

6. Эта рабочая расчетная схема принимается за исходную при выполнении расчета на втором шаге нагружения, т. е. при нагрузке  $P_i^{(2)} = \Delta P_i^{(1)} + \Delta P_i^{(2)}$ . Расчет выполняется по тому же алгоритму, что и на первом шаге нагружения.

7. Аналогично рабочая расчетная схема  $(k-1)$ -го шага нагружения принимается за исходную на  $k$ -м шаге.

При расчете на подвижную нагрузку приведенный выше алгоритм применяется к разным расчетным точкам. Следствием этого является изменение расчетной схемы для них.

Для иллюстрации алгоритма выполним тест-расчет.

Начальные параметры:

Трехпролетная балка на односторонних опорах (рис. 2). Длина пролета — 6 м, величина зазоров:  $\Delta 1 = 0$  см;  $\Delta 2 = 6$  см;  $\Delta 3 = 5$  см;  $\Delta 4 = 0$  см. В качестве материала возьмем двутавр стальной горячекатаный с профилем № 30 ( $I = 7080$  см<sup>4</sup>,  $W = 472$  см<sup>3</sup>).

Задача: построить линии влияния изгибающего момента для обозначенного сечения 1—1 (рис. 2).

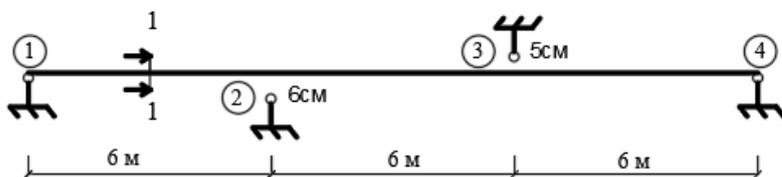


Рис. 2. Начальные параметры балки

Решение производится с помощью метода конечных элементов в форме смешанного метода (рис. 3).

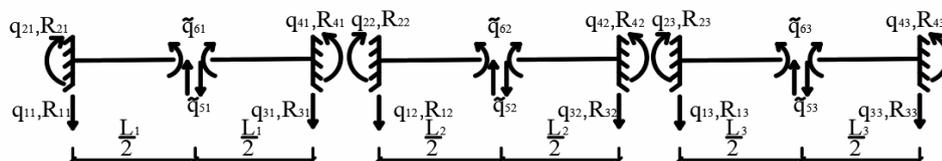


Рис. 3. Основная схема для метода конечных элементов

Изобразим станции подвижной силы для построения линии влияния (рис. 4):

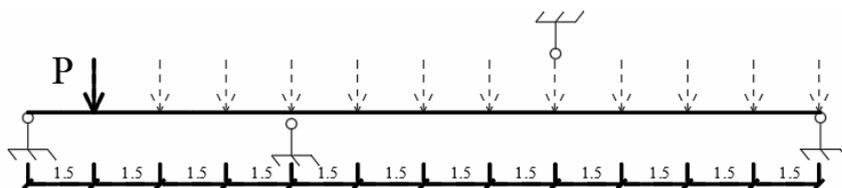


Рис. 4. Станции приложения подвижной нагрузки

Пределы величины движущейся нагрузки, для которых справедливы линии влияния, определим методом последовательных приближений в зависимости от положения односторонних опор.

Мы также должны сделать проверку максимального усилия в балке, чтобы исследование всегда велось в зоне упругих деформаций.

Поскольку предел упругости стал равен  $\sigma = 205$  МПа, то изгибающий момент для данной конструкции не должен превышать  $M_{\max} = W\sigma = 96\,760$  Нм.

В нашем исследовании максимальный момент составил 78 750 Нм, что соответствует напряжению  $\sigma = \frac{M}{W} = 166,8$  МПа, следовательно, за пределы упругих деформаций мы не выходили.

Приложив нагрузку на первую станцию, определим ее интенсивности, которые будут приводить к изменению расчетной схемы (табл. 1).

Таблица 1

*Определение вариантов изменения конструктивной схемы  
при приложении нагрузки различной интенсивности на первую станцию*

Ур. нагр.	Величина нагрузки, Н	1 опора	2 опора	3 опора	4 опора	$M_x^1$ , Нм	ЛВ
1	28 500		–	–	+	35 600	1,25
2	83 100	+	+	–	–	62 320	0,75
3	83 100	+	+	+	+	46 740	0,562

В таблице 1 показано, что при увеличении интенсивности нагрузки для станции 1 будет существовать три варианта расчетной схемы:

1. При  $P < 28\,500$  — односторонние опоры 2, 3 не включены в работу, зазор не исчерпан.

2. При  $28\,500 < P < 83\,100$  — односторонние опоры 3, 4 не включены в работу, в односторонней опоре 2 зазор исчерпан, опора включена в работу.

3. При  $P > 83\,100$  — все односторонние опоры включены в работу, зазоры исчерпаны.

В этой таблице и далее принято обозначение: «+» — опора включена в работу; «–» — опора выключена из работы.

Приложив нагрузку на вторую станцию, определим те ее интенсивности, которые будут приводить к изменению расчетной схемы (табл. 2).

Таблица 2

*Определение вариантов изменения конструктивной схемы  
при приложении нагрузки различной интенсивности на вторую станцию*

Ур. нагр.	Величина нагрузки, Н	1 опора	2 опора	3 опора	4 опора	$M_x^1$ , Нм	ЛВ
1	15 000	+	–	–	+	37 500	2,5
2	52 500	+	+	–	–	78 750	1,5
3	52 500	+	+	+	+	63 000	1,2

В таблице 2 показано, что при увеличении интенсивности нагрузки для станции 2 будет существовать три варианта расчетной схемы:

1. При  $P < 15\,000$  — односторонние опоры 2, 3 не включены в работу, зазор не исчерпан.

2. При  $15\,000 < P < 52\,500$  — односторонние опоры 3, 4 не включены в работу, в односторонней опоре 2 зазор исчерпан, опора включена в работу.

3. При  $P > 52\,500$  — все односторонние опоры включены в работу, зазоры исчерпаны.

Далее в тексте приведены только результаты расчета надопорных станций приложения нагрузки.

Приложив нагрузку на четвертую (надопорную) станцию, определим те ее интенсивности, которые будут приводить к изменению расчетной схемы (табл. 3).

Таблица 3

*Определение вариантов изменения конструктивной схемы при приложении нагрузки различной интенсивности на четвертую станцию*

№ загр.	Величина нагрузки, Н	1 опора	2 опора	3 опора	4 опора	Момент пролет, Нм	Линия влияния
1	8800	+	-	-	+	17 600	2
2	8800	+	+	-	+	0	0

В таблице 3 показано, что при увеличении интенсивности нагрузки для станции 4 будет существовать два варианта расчетной схемы:

1. При  $P < 8800$  — односторонние опоры 2, 3 не включены в работу, зазор не исчерпан.

2. При  $P > 8800$  — односторонняя опора 3 не включена в работу, в односторонней опоре 2 зазор исчерпан, опора включена в работу.

Приложив нагрузку на восьмую (надпорную) станцию, определим те ее интенсивности, которые будут приводить к изменению расчетной схемы (табл. 4).

Таблица 4

*Определение вариантов изменения конструктивной схемы при приложении нагрузки различной интенсивности на восьмую станцию*

№ загр.	Величина нагрузки, Н	1 опора	2 опора	3 опора	4 опора	Момент пролет, Нм	Линия влияния
1	10 100	+	-	-	+	10 100	1
2	10 100	-	+	-	+	0	0

В таблице 4 показано, что при увеличении интенсивности нагрузки для станции 8 будет существовать два варианта расчетной схемы:

1. При  $P < 10 100$  — односторонние опоры 2, 3 не включены в работу, зазор не исчерпан.

2. При  $P > 10 100$  — односторонняя опора 3 не включена в работу, в односторонней опоре 2 зазор исчерпан, опора включена в работу.

Аналогично произведем расчет остальных станций приложения нагрузки и определим интенсивности, которые будут приводить к изменению расчетной схемы. Результат представим в виде линий влияния, каждая из которых будет справедлива на определенном уровне интенсивности нагрузки (рис. 5).

При величине усилия  $P < 8200$  не закрывается ни одна опора.

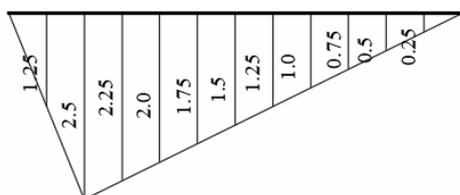


Рис. 5. Линия влияния для заданного сечения при  $P \leq 8200$

При величине усилия  $8250 < P \leq 8800$  зазор у второй опоры закроется, если сила будет находиться на 6 и 7 станциях (рис. 6).

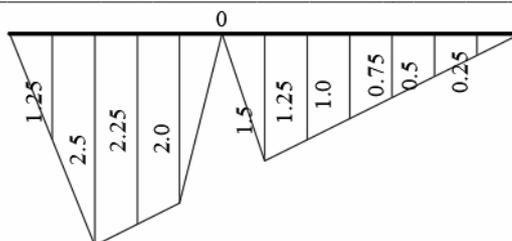


Рис. 6. Линия влияния для заданного сечения при  $8200 < P \leq 8250$

При величине усилия  $8800 < P \leq 10100$  зазор у второй опоры закроется, если сила будет находиться на 5, 6, 7 и 8 станциях (рис. 7).

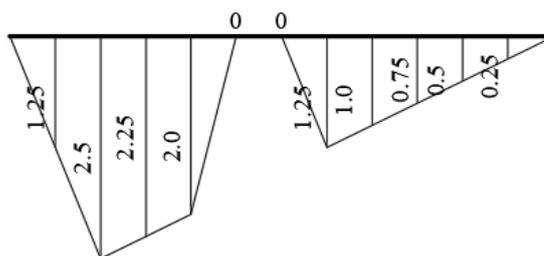


Рис. 7. Линия влияния для заданного сечения при  $8250 < P \leq 8800$

Пропустим уровни изменения нагрузки  $8800 < P \leq 15000$ , отметив, что в них продолжает увеличиваться количество станций с нулевым значением момента и корректируется значение линий влияния для станций 1—5 вследствие перераспределения усилий из-за изменения рабочей схемы (рис. 8).

При величине усилия  $15000 < P \leq 18400$  зазор у второй опоры закроется, если сила будет находиться на 5, 6, 7, 8, 9 и 11 станциях, а зазор под третьей опорой закроется на 3 и 4 станциях.

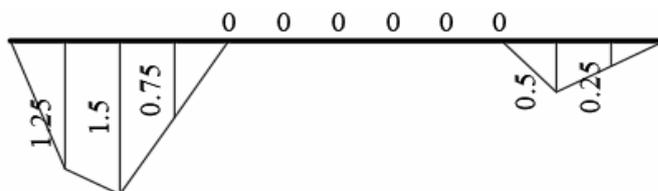


Рис. 8. Линия влияния для заданного сечения при  $15000 < P \leq 18400$

При величине усилия  $18400 < P \leq 28500$  первая опора закроется, если сила будет находиться на 5, 6, 7, 8, 9 и 11 станциях, а второй зазор закроется на 2, 3 и 4 станциях.

Пропустим уровни изменения нагрузки  $18400 < P \leq 83100$ , отметив, что в них происходит незначительная корректировка линии влияния относительно устоявшейся формы.

При величине усилия  $83100 < P \leq 95000$  зазор у второй опоры закроется, если сила будет находиться на 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 станциях, а зазор под

третьей опорой закроется на 2, 3 и 4 станциях. Все четыре опоры будут работать, если усилие будет находиться на 2, 3 и 4 станциях (рис. 9).

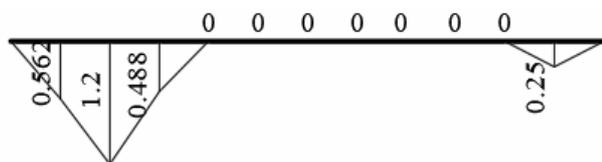


Рис. 9. Линия влияния для заданного сечения при  $83\,100 < D \leq 95\,000$

При величине усилия  $P > 95\,000$  зазор у второй закроется, если сила будет находиться на 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 станциях, а зазор под третьей опорой закроется на 2, 3 и 4 станциях. Все четыре опоры будут работать, если усилие будет находиться на 2, 3 и 4 станциях.

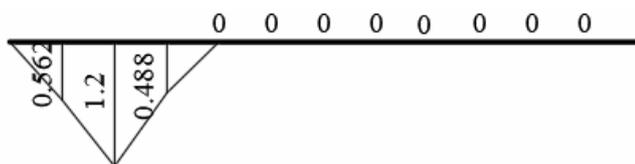


Рис. 10. Линия влияния для заданного сечения при  $P > 95\,000$

На приведенных рисунках видно скачкообразное изменение линии влияния на разных шагах приложения нагрузки. Эти скачки связаны с изменением расчетной схемы, произошедшим в результате закрытия/открытия односторонних связей.

Проведенный анализ системы с односторонними связями с зазорами на действие движущейся нагрузки показал:

1) в связи с особенностями работы такой системы необходимо строить линии влияния на отдельных уровнях интенсивности нагрузки, которые будут соответствовать изменению расчетной схемы;

2) получена исчерпывающая информация об НДС балочной конструкции с односторонними опорами, которую можно будет использовать при расчете и проектировании.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колотухин Е. Р. Автоматизация расчетов конструкций на подвижную нагрузку // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : Материалы Всероссийской науч. конф. с международным участием. 2016. С. 455—458.
2. Катен М. А., Хуркова Д. А. Расчет вантовых ферм на подвижную нагрузку // Материалы Международной науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. С. 2248—2250.
3. Колоколов Н. М., Вейнблат Б. М. Строительство мостов. М. : Транспорт, 1981.
4. Рабинович И. М. Некоторые вопросы теории сооружений, содержащих односторонние связи // Инженерный сборник. Т. 6. М., 1950.
5. Перельмутер А. В. К расчету систем с односторонними дискретными связями // Строительная механика и расчет сооружений. 1976. №1. С. 59—61.
6. Портаев Л. П. Расчет систем с дискретными односторонними связями — задача линейного программирования // Строительная механика и расчет сооружений. 1975. № 1. С. 59—61.

7. Ван Н. Х., Ловцов А. Д. Моделирование выпучивания (просадки) дискретных односторонних опор балок методом сил // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2014. № 1. С. 310—315.

8. Сеницын А. П. Балка на упругом основании как система с односторонними связями // Вестник ВИА. 1952. № 64. С. 20—33.

9. Нелинейная строительная механика стержневых систем. Основы теории. Примеры расчета / В. А. Игнатьев и др. Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. 97 с.

10. Игнатьев В. А., Игнатьев А. В. Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики. Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. 99 с.

11. Игнатьев В. А., Игнатьев А. В., Бочков М. И. Расчет многопролетных балок с односторонними связями по МКЭ в форме классического смешанного метода // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 94—108.

12. Игнатьев В. А., Игнатьев А. В., Бочков М. И. Применение метода конечных элементов в форме классического смешанного метода к расчету систем с односторонними связями // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 2(271). С. 52—61.

13. Городецкий А. С., Городецкий Д. А., Пикуль А. В. Конструктивная нелинейность. Односторонние связи. Проблемы реализации // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. № 12(3). С. 35—39.

14. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М. : АСВ, 2011. 709 с.

15. Гордеев В. И., Перельмутер А. В. Расчет упругих систем с односторонними связями как задача квадратичного программирования // Исследования по теории сооружений. М. : Стройиздат, 1966.

© Игнатьев А. В., Бочков М. И., Иванов С. Ю., 2019

Поступила в редакцию  
в феврале 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Игнатьев А. В., Бочков М. И., Иванов С. Ю. Методика расчета балок с односторонними связями на действие подвижной нагрузки с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 49—57.

Об авторах:

**Игнатьев Александр Владимирович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [alignat70@yandex.ru](mailto:alignat70@yandex.ru)

**Бочков Максим Иванович** — аспирант кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [maxim.bochkow@yandex.ru](mailto:maxim.bochkow@yandex.ru)

**Иванов Станислав Юрьевич** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [stassuz-1-14@yandex.ru](mailto:stassuz-1-14@yandex.ru)

**Aleksandr V. Ignat'ev, Maksim I. Bochkov, Stanislav Yu. Ivanov**

**Volgograd State Technical University**

## **THE METHOD OF CALCULATION OF BEAMS WITH UNILATERAL CONSTRAINTS THE ACTION OF MOVING LOADS USING FEM IN THE FORM OF CLASSICAL MIXED METHOD**

The article presents lines of influence calculation algorithm for the structurally nonlinear beams. The problem is calculated by the finite element method in the form of the classical mixed method. A numerical example of constructing a bending moment influence line for a multi-span continuous beam with one-way connections is given.

**Key words:** finite element method in the form of classical mixed method, constructive nonlinearity, one-way connections, multi-span continuous beam, moving load.

*For citation:*

Ignat'ev A. V., Bochkov M. I., Ivanov S. Yu. [The method of calculation of beams with unilateral constraints the action of moving loads using FEM in the form of classical mixed method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 49—57.

*About authors:*

**Aleksandr V. Ignat'ev** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [alignat70@yandex.ru](mailto:alignat70@yandex.ru)

**Maksim I. Bochkov** — Postgraduate student of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [maxim.bochkow@yandex.ru](mailto:maxim.bochkow@yandex.ru)

**Stanislav Yu. Ivanov** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [stassuz-1-14@yandex.ru](mailto:stassuz-1-14@yandex.ru)

УДК 691.5

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

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

**ОЦЕНКА ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВЕ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ  
ДЛЯ ОТДЕЛКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

Приведены результаты изучения пожаробезопасности покрытий на основе силикатных и золь-силикатных красок, предназначенных для отделки металлических строительных изделий и конструкций. Экспресс-методом огневой трубы установлено, что покрытия относятся к группе несгораемых материалов. Полученные доказательства свидетельствуют об улучшении пожаробезопасных характеристик покрытий на основе золь-силикатной краски по сравнению с силикатными красками.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** полисиликатное связующее, покрытия, горючесть, воспламеняемость.

В последнее время в практике отделочных работ находят применение силикатные краски на основе полисиликатного связующего, имеющего силикатный модуль от 4 до 25 [1, 2, 3, 4]. Нами были разработаны однокомпонентные окрасочные составы на основе золь-силикатного связующего с введением наполнителей и пигментов. В качестве наполнителя предложено применять смесь талька, маршалита и микрокальцита. Была рассчитана критическая объемная концентрация пигмента (наполнителя), составляющая в зависимости от вида применяемого наполнителя 60...66,4 %. 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/м<sup>2</sup>. Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Стойкость к статическому действию воды при температуре 20 °С составляет не менее 24 часов. Было установлено, что покрытия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением [5, 6]. Для пленок на основе полисиликатных растворов характерно проявление масштабного фактора. С увеличением толщины полимерного покрытия с 0,1 до 0,3 мм относительная твердость снижается с 0,48 до 0,6 МПа. Анализ полученной зависимости относительной твердости покрытий от их толщины показывает, что относительная твердость с увеличением толщины полимерного покрытия уменьшается по линейному закону. Линейный характер зависимости относительной твердости от толщины свидетельствует о хрупком разрушении пленок.

В дальнейших исследованиях была проведена оценка горючести покрытий. В соответствии с ГОСТ 12.1.044 все твердые вещества и материалы подразделяют на 3 группы горючести<sup>1</sup>:

1) несгораемые (негорючие) — вещества и материалы, которые в условиях высоких температур не подвержены воспламенению, тлению или обугливанию;

<sup>1</sup> ГОСТ 12.1.044—89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

2) трудносгораемые (трудногорючие) — вещества и материалы, которые под воздействием высоких температур с трудом воспламеняются, тлеют и обугливаются, но только в присутствии огня. При удалении огня процессы горения, тления и обугливания прекращаются;

3) сгораемые (горючие) — вещества и материалы, которые под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются, горят или тлеют и после удаления источника огня.

Для выявления степени противодействия покрытий распространению огня вначале проводили испытания с помощью прибора «Огневая труба», при этом материал, не выдержавший испытаний на «Огневой трубе», относили к группе горючих. Если материал проходит испытания по этому методу, то для установления группы горючести его испытывают в более жестких условиях.

При испытании с помощью прибора «Огневая труба» были изготовлены образцы покрытий размером  $150 \times 35 \times s$  мм. В верхней части на продольной оси образца просверливали отверстие для крепления образца при испытании. Высота пламени горелки составляла  $40 \pm 5$  мм, расстояние между нижним краем образца и верхней кромкой горелки — 5 мм. Образец взвешивали и помещали в испытательную установку. В ходе испытаний определяли время зажигания, обеспечивающее устойчивое горение образца. Затем горелку удаляли и фиксировали время самостоятельного горения пламенем и тлением. После испытаний образцы, остывшие до комнатной температуры, извлекали из прибора и взвешивали. Критериями оценки горючести материала по методу «Огневая труба» являлись потеря массы образца и время самостоятельного горения пламенем или тлением.

Потерю массы образца ( $\Delta m$ ) рассчитывали по формуле:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (1)$$

где  $m$  — масса образца покрытия до испытания, г;  $m_2$  — масса образца покрытия после испытания, г.

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 1.

Установлено, что все исследуемые покрытия выдержали испытания по методу «Огневая труба» (рис. 1).

Для покрытий на основе полисиликатных растворов характерна более низкая потеря массы. Так, снижение массы покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора составляет 3,27 %, а для покрытий на основе калиевого жидкого стекла — 10 %. Аналогичные закономерности характерны и для покрытий на основе натриевого жидкого стекла и натриевого полисиликатного раствора.

Таким образом, разработанный состав краски образует покрытия, которые не относятся к группе сгораемых материалов.

Одним из показателей пожарной опасности твердых веществ и материалов является их температура воспламенения и самовоспламенения<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> ГОСТ 30244—94. Материалы строительные. Методы испытания на горючесть.

ГОСТ 30402—96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.

Результаты испытаний покрытий

Вид покрытия	Масса образца до испытания, $m$ , г	Масса образца после испытания, $m_1$ , г	Время самостоятельного горения образца, $\tau_{\text{сам. гор}}$ , с		Потеря массы образца, $\Delta m$ , %
			пламенем	тлением	
Силикатное на основе натриевого жидкого стекла	6,822	6,023	нет	0	11,71
Силикатное на основе натриево-гополисиликатного раствора	10,416	9,948	нет	0	4,49
Силикатное на основе калиевого жидкого стекла	6,336	5,738	нет	0	10
Силикатное на основе калиевого полисиликатного раствора	13,677	13,230	нет	0	3,27

Примечание. Горение покрытия при максимальном времени воздействия пламени (2 мин) не произошло.



Рис. 1. Внешний вид образцов после испытаний на горючесть по методу «Огневая труба»: 1 — покрытие на основе калиевого жидкого стекла; 2 — покрытие на основе калиевого полисиликатного раствора; 3 — покрытие на основе натриевого жидкого стекла; 4 — покрытие на основе натриевого полисиликатного раствора

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г. (в ред. Федер. закона от 3 июля 2016 г. № 301-ФЗ).

При исследовании динамики развития пожара и его причины температура воспламенения или самовоспламенения веществ и материалов является важной оценочной характеристикой, позволяющей сделать выводы об их способности к возгоранию и распространению горения при воздействии тех или иных источников зажигания [7—10].

Согласно ГОСТ 12.1.044—89 температура воспламенения — наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Сущность метода состоит в определении температуры, при которой происходит воспламенение образца при контакте продуктов термического разложения с источником зажигания. Испытание образцов проводилось на испытательной установке «ОТП» в соответствии с ГОСТ 30402—96. Сущность метода заключается в определении параметров воспламеняемости материала при заданных стандартом уровнях воздействия на поверхность образца лучистого теплового потока и пламени от источника зажигания (рис. 2). За температуру воспламенения исследуемого вещества (материала) принимается среднее арифметическое двух температур, отличающихся не более чем на 10 °С, при одной из которых наблюдается воспламенение трех образцов, а при другой — три отказа.

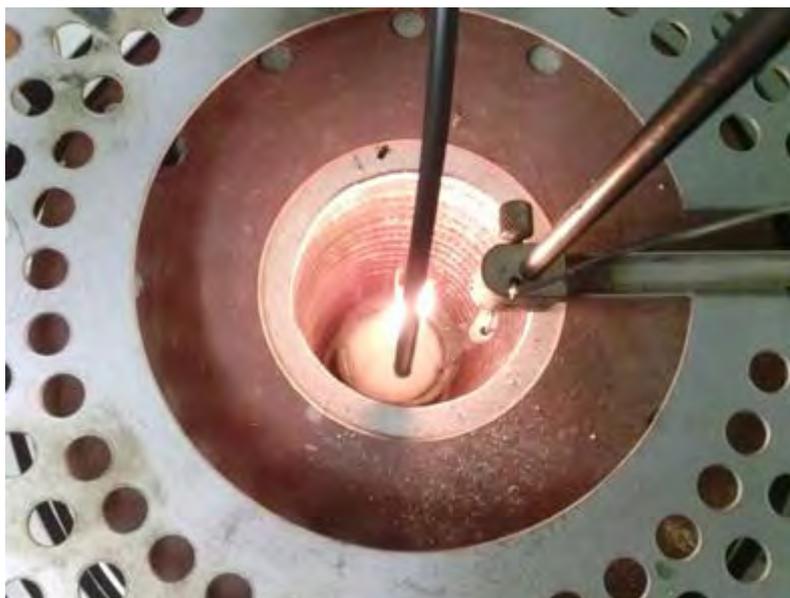
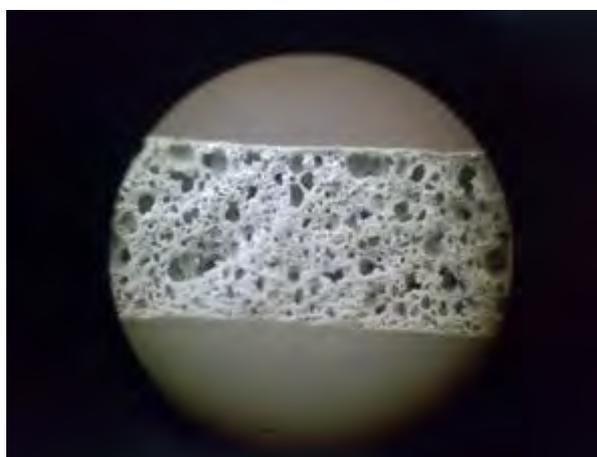


Рис. 2. Фрагмент испытания

При испытании установлено, что покрытия на основе калиевого жидкого стекла и калиевого полисиликатного раствора не воспламенились (тления тоже замечено не было) даже при температуре 760 градусов. Не наблюдается дымовыделение. Однако было зафиксировано изменение формы и цвета. Потеря массы образца покрытия на основе калиевого жидкого стекла составило 30,14 % по массе, а образца покрытия на основе калиевого полисиликатного раствора — 27,14 % (рис. 3, 4).



*a*



*б*

Рис. 3. Покрытие на основе калиевого жидкого стекла: *a* — внешний вид покрытия; *б* — структура покрытия на сломе



Рис. 4. Покрытие на основе калиевого полисиликатного раствора

**Заключение.** В данной работе проанализированы пожаробезопасные свойства покрытий на основе полисиликатных растворов, предназначенных для отделки металлических строительных изделий и конструкций. Установлено, что покрытия относятся к группе несгораемых материалов. Полученные данные свидетельствуют о повышении пожаробезопасных характеристик покрытий на основе золь силикатной краски по сравнению с покрытиями на основе силикатной краски.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеев В. И., Данилов В. В. Производство и применение растворимого стекла. Л. : Стройиздат, 1991. 176 с.
2. Айлер Р. Химия кремнезема. М. : Мир, 1982.
3. Получение и применение гидрозоль кремнезема / Под ред. проф. Ю. Г. Фролова // Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. 1979. С. 37.
4. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials // Scientific Israel-Technological Advantages. 2012. Vol. 14. № 1. Pp. 7—12.
5. Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б. Разработка рецептуры золь-силикатной краски // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 3. С. 51—53.
6. Логанина В. И., Мажитов Е. Б. Анализ качества внешнего вида силикатных покрытий методом атомно-силовой микроскопии // Вестник МГСУ. Т. 13. 2018. Вып. 5(116). С. 426—435.
7. Sedlak B., Kinowski J., Sulik P. The risks associated with falling parts of glazed facades in case of fire // Open Engineering. 2018. Vol. 8. № 1. Pp. 147—155.
8. Velicka R, Velickova E. Assessment of the Normative Requirements for Ensuring the Safety of Powder Coating Booths in Terms of the Risk of Explosion // Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering. Slovakia, 2017. Pp. 359—364.
9. Bilotta A., Donatella de S., Emidio N. General approach for the assessment of the fire vulnerability of existing steel and composite steel-concrete structures // Building Engineering. 2016. Vol. 8. Pp. 198—207.
10. Krueger S., Gluth Gregor J. G., Watolla Marie-Bernadette. New ways: Reactive fire protection coatings for extreme conditions // BAUTECHNIK. 2016. Vol. 93. № 8. Pp. 531—542.

© Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Логанина В. И., Кислицына С. Н., Мажитов Е. Б. Оценка пожаробезопасности покрытий на основе золь-силикатной краски для отделки металлических строительных изделий и конструкций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 58—64.

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

**Valentina I. Loganina, Svetlana N. Kislitsyna, Erkebulan B. Mazhitov**

**Penza State University of Architecture and Civil Engineering**

**EVALUATION OF FIRE SAFETY COATINGS ON THE BASIS OF SOL-SILICATE PAINT FINISHES FOR METAL BUILDING PRODUCTS AND STRUCTURES**

The results of the study of fire safety of coatings based on silicate and sol-silicate paints for finishing metal building products and structures are presented. Express by the method of the fire tube it was found that the coatings belong to the group of non-combustible materials. Obtained evidence of improved fireproof characteristics of coatings based on sol-silicate paint as compared to silicate paints.

**Key words:** polysilicate binder, coatings, flammability, flammability.

*For citation:*

Loganina V. I., Kislitsyna S. N., Mazhitov E. B. [Evaluation of fire safety coatings on the basis of sol-silicate paint finishes for metal building products and 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], 2019, iss. 2, pp. 58—64.

*About authors:*

**Valentina I. Loganina** — 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

**Svetlana N. Kislitsyna** — 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

**Erkebulan B. Mazhitov** — 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 666.972

**А. В. Положнов, А. П. Михалькова**

*Волгоградский государственный технический университет*

**АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК ПО СОЗДАНИЮ  
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ  
ПРЕДПРИЯТИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Проанализированы направления комплексного использования техногенных отходов в разработке высококачественных строительных материалов.

Приведены результаты оценки свойств бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительный материал, высококачественный цементный бетон, техногенные отходы, шлак, стеклобой, прочность на сжатие.

Развитие строительного производства обуславливает необходимость создания эффективных высококачественных материалов, применение которых является экономически целесообразным и позволяет сократить энергетические затраты и расход сырьевых ресурсов [1—5].

Экологические и технико-экономические аспекты использования техногенных отходов различных отраслей промышленности в производстве цемента являются актуальной и своевременной задачей с позиций строительного материаловедения, экологии и экономики.

В связи с приоритетными программами по жилищному, дорожному и другим видам строительства требуется большое количество разнообразных дешевых высококачественных строительных материалов и бетонов. Одним из распространенных видов сырья для производства таких материалов являются многотоннажные отходы металлургической, теплоэнергетической, горнодобывающей, химической и других отраслей промышленности.

Отходы производства как в России, так и во всем мире наращиваются. Больше всего отходов образуют предприятия металлургических, обрабатывающих и теплоэнергетических отраслей. Огромные скопления этих отходов нарушают экологическое равновесие в природе, являются источником загрязнения окружающей среды.

Нагрузка на природную среду достигла таких размеров, при которых сама природа уже не в состоянии восстановить нарушенное экологическое равновесие. Поэтому, несмотря на наличие в настоящее время многочисленных работ отечественных и зарубежных научно-исследовательских и учебных институтов, лабораторий, конструкторско-технологических бюро и фирм, плеяды видных ученых и специалистов-производственников, разработавших рекомендации, ГОСТы и технологии применения золошлаковых отходов ТЭС в бетонах, требуется комплексный подход к решению этой проблемы. А именно такие теоретические, проектные и практические разработки и предложения, которые позволят использовать отходы каждого предприятия, сокращая и сводя на нет применение в бетонах природных и искусственно соз-

данных заполнителей (щебня, гравия, песка, керамзита, пенополистирола и других), а также цемента.

Это позволит решить триединую задачу: экологическую (ликвидацию отходов), экономическую (стоимость бетонов из вторичных ресурсов значительно дешевле) и социальную (увеличение строительства жилья и других объектов соцкультбыта из дешевых и различных видов материалов).

Целью работы является изучение и анализ отечественного и зарубежного опыта получения, особенности технологии высококачественного цементного бетона с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области.

Многолетние исследования (в течение 30 лет), теоретические и практические разработки и имеющийся опыт показали и доказали возможность комплексного решения вышеуказанной проблемы [1—14].

Разработка строительных композитов на основе комплексного использования техногенных отходов обусловлена эколого-экономическими факторами: во-первых, значительным ростом цен на вяжущие, природные заполнители и энергоносители и, во-вторых, ухудшением экологической ситуации в результате образования и накопления промышленных отходов.

Исследования показывают, что широкое применение промышленных отходов позволило бы на 15...20 % расширить минерально-сырьевую базу промышленности строительных материалов [1—5, 9—14].

Введение в состав цементного бетона щебня металлургического шлака или шлакового песка вместо традиционного сырья преследует решение не только экологической задачи, но и значительного повышения эксплуатационных характеристик изделий. Улучшение качества, разработка новых эффективных составов строительных композитов, несомненно, является актуальной задачей.

Классические строительные материалы формируются из следующих основных компонентов: цемент, мелкий заполнитель (песок), крупный заполнитель (щебень), гравий.

В настоящее время широко применяются новые виды заполнителей:  
тугоплавкие соединения SiC (карбид кремния);  
металлические заполнители: дробь, стружка;  
шлаки;  
стеклянный бой.

Новые составы определяют новые свойства и новые области применения.

В связи с этим актуальной проблемой на сегодняшний день является изучение строения и свойств многокомпонентных составов строительных материалов.

В настоящей работе рассмотрены и исследованы цементные бетоны, в состав которых введены компоненты техногенных отходов промышленных предприятий.

В процессе выполнения работы были применены теоретические и экспериментальные методы исследования: физико-химические исследования (химические методы анализа, минералогический анализ, анализ гранулометрического состава компонентов, дисперсности порошковых материалов), физико-механические исследования (определение плотности, прочности бетонной композиции).

В качестве компонентов цементных бетонов как строительного композиционного материала использовались техногенные отходы и местное сырье промышленных предприятий Волгоградской области:

*Обточка* — продукт механической обработки абразивного инструмента, полученный в результате доводки инструмента до требуемого класса чистоты и геометрических параметров, ОАО «Волжский абразивный завод».

Насыпная плотность, г/см<sup>3</sup> — 1,85...1,86.

Химический состав обточки представлен в табл. 1.

Таблица 1

*Химический состав продукта механической обработки абразивного инструмента*

Химический состав обточки, %					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3,8...23,8	89,6...60,8	0,12...0,35	0,3...1,9	0,95...6,0	0,4...1,7

*Стеклобой (смесь боя стекла)* (ГОСТ Р 52233—2004. Тара стеклянная. Стеклобой. Общие технические условия).

Утилизация боя стекла является актуальной научно-технической задачей, успешное решение которой может принести существенный экономический и экологический эффект.

В твердых бытовых отходах на долю стеклобоя приходится около 5 масс. %.

С точки зрения химического и физического строения, стеклобой можно рассматривать как минеральный ресурс — аморфный силикатный материал антропогенного происхождения. Причем по своим структурно-механическим свойствам стеклобой обладает высокой прочностью и может быть использован в качестве наполнителя в бетонных композиционных изделиях. Такое решение проблемы стеклобоя позволит не только получить новые конструкционные материалы, обладающие рядом ценных эксплуатационных свойств, но и минимизировать антропогенное воздействие стеклобоя на окружающую среду.

На основании обзора основных путей утилизации стеклобоя и свойств стекла в различных дисперсных состояниях и при различных температурах все способы переработки можно разделить на 4 группы [15].

К первой группе относятся способы переработки кускового стекла с частицами размером более 0,5...1 мм. Для стекла такого фракционного состава характерна высокая прочность, хорошая адгезия к силикатным материалам, высокие декоративные свойства.

При использовании стекла в качестве компонента в бетоне можно заменить щебень, гравий, частично портландцемент и пуццолан в виде летучей золы [16].

Третья группа методов основана на использовании средне- и мелкодисперсного порошка с частицами менее 0,1 мм. При измельчении стекла до размеров менее 50 мкм заметную роль начинают играть поверхностные силы и получаемый порошок обладает заметными вяжущими свойствами.

Применение стекла в качестве заполнителя в краске и пластмассе позволяет заменить глину и карбонаты с получением товарного продукта такого же качества.

Использование стекла как добавки в клинкер до и после обжига аналогично замене стекла в бетоне с той разницей, что в данном случае применяется не кусковое стекло, а его порошок. Исследования, проведенные авторами [17], позволили разработать эффективную технологию, позволяющую использовать бой стекла не только как заполнитель, но и в качестве основного компонента связующего.

Превращение тонкодисперсного порошка связующего на основе боя стекла в камневидное тело происходит в результате взаимодействия компонентов, входящих в его состав, с водным раствором щелочей. В результате получается строительные изделия с плотностью  $500...2400 \text{ кг/м}^3$  при прочности  $0,5...25 \text{ МПа}$ .

*Шлак металлургического производства ОАО «Волжский трубный завод».*

По классификации П. И. Боженова металлургические шлаки относятся к классу искусственных продуктов, полученных в результате глубоких физико-химических процессов.

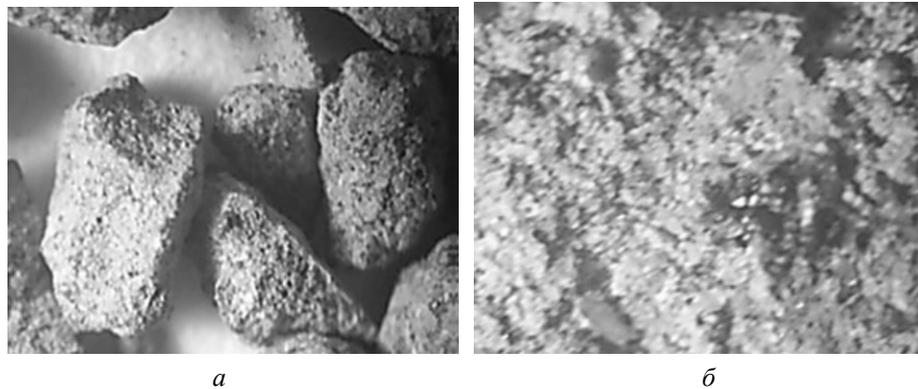


Рис. 1. Макроструктура металлургического шлака: *a* — шлак, увеличение  $25^{\times}$ ; *b* — шлак, увеличение  $100^{\times}$

Цвет шлака крупной фракции преимущественно серый, наблюдаются области высокой отражательной способности, обладающие металлическим блеском. Макроструктура шлака пористая, отмечается наличие закристаллизованной стекловидной составляющей. Бурые включения свидетельствуют о наличии оксидов железа.



Рис. 2. Кварцевый песок Орловского месторождения, марка 2K2O3025

**Кварцевый песок Орловского месторождения.** Массовая доля глинистой составляющей 0,2 %; массовая доля диоксида кремния, %, 99; коэффициент однородности, %, 65; средний размер зерна, мм, 0,25; массовая доля влаги, %, 0,05; форма зерна полукруглая; рН 7,05...7,20.

*Вода.* Использовалась вода водопроводная по ГОСТ 23732—85.

*Портландцемент* марки М500 ОАО «Себряковцемент».

Результаты исследований, направленных на замену песка в модифицированных бетонных композициях отходами производств (стеклобой, обточка), представлены на рис. 3, 4.



Рис. 3. Зависимость изменения прочности при сжатии от содержания обточки

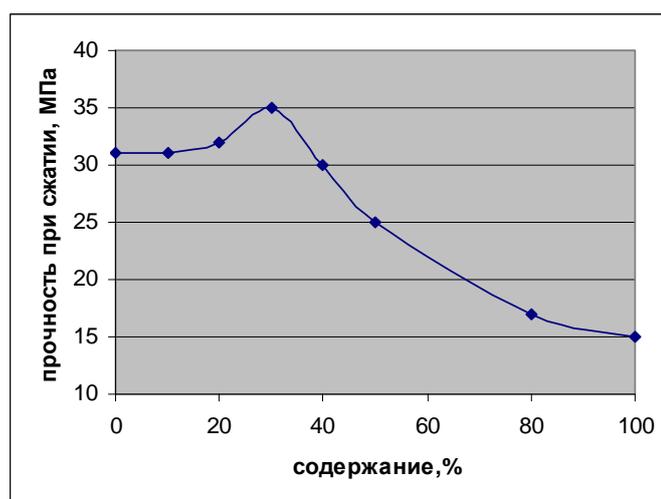


Рис. 4. Зависимость изменения прочности при сжатии от содержания стеклобоя

Как известно, в системах, полученных смешением разнодисперсных, разноплотных, разнообъемных компонентов, проявляется другой, более мощный, чем аддитивность, эффект — синергизм, обусловленный ориентацией структурных звеньев связующего.

Проведенные исследования показали, что оптимальным количеством вводимого стеклобоя является 35...45 %. Обточка в количестве от 10 до 55 % увеличивает прочность и может полностью заменить заполнитель в бетоне.

Строительно-эксплуатационные характеристики модифицированных мелкозернистых бетонов оптимальных составов приведены в табл. 2.

Основные строительно-эксплуатационные характеристики  
модифицированных мелкозернистых бетонов

Вид заполнителя	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение, %	Истираемость, г/см <sup>2</sup>	Морозостойкость, цикл
Песок	30...32	6,2...6,5	6...8	0,13	200
Обточка	35...41	7,5...8,2	3...4	0,08	Более 200
Стеклобой	31...35	5,4...6,1	5...6	0,14	Более 200

Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта получения, особенности технологии высококачественного цементного бетона с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области и полученные экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности применения техногенных отходов в бетонных композициях, что не только экономически и экологически оправдано, но и способствует повышению физико-механических характеристик и их прогнозированию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клавдиева Т. Н.* Разработка составов и повышение эксплуатационных характеристик цементных бетонов при использовании техногенного сырья металлургии : дисс... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010.
2. *Абрамов А. К., Печериченко В. К., Коляго С. С.* Использование промышленных отходов при производстве дешевых высококачественных вяжущих и бетонов // *Строительные материалы.* 2004. № 6. С. 50—51.
3. *Баженов Ю. М.* Технология бетона. М. : АСВ, 2011. 528 с.
4. *Газиев У. А., Акрамов Х. А.* Отходы промышленности в производстве строительных материалов и изделий : учеб. пособие. Ташкент : ТАСИ, 2003. 112 с.
5. *Баженова С. И.* Получение высококачественного бетона с использованием модификаторов структуры на основе отходов промышленности // *Технические науки: проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф. Санкт-Петербург, 2011.* СПб. : Реноме, 2011. С. 23—25. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/252>
6. *Bazhenov Yu. M., Dem'yanova V. S., Kalashnikov V. I.* Modificirovannye vysokokachestvennyye betony. M. : ASV, 2006. 368 p.
7. *Larbi J. A., Bijen J. M.* Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems // *Cem. and Concr. Res.* 1990. № 5. Pp. 783—794.
8. *Kodama K.* Study on utilisation of blast-furnace slag in Concrete // *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers.* Vol. 12. 1981. Pp. 278—279.
9. *Боженев П. И.* Основное направление в развитии промышленности строительных материалов использование техногенного сырья // *Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии.* Белгород, 1991. С. 10—12.
10. *Борисов А. А.* О возможности использования дисперсных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // *Строительные материалы.* 2004. № 8. С. 39—39.
11. *Ильичев В. А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В. Н.* О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // *Строительные материалы.* 2011. № 4. С. 34—38.
12. *Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики / Ю. И. Гончаров и др.* Белгород : БелГТАСМ, 2001. 181 с.
13. *Павлов В. Ф.* Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // *Строительные материалы.* 2003. № 8. С. 28—30.
14. *Хирис Н. С.* Высоконаполненный мелкозернистый бетон на основе техногенных отходов металлургии : дисс... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. 144 с.

15. Ketov A. A. Peculiar chemical and technological properties of glass cullet as the raw material for foamed insulation // *Recycling and Reuse of Waste Materials : proceedings of the International Symposium 9—11 September 2003, Dundee UK*. Pp. 695—704.

16. Byars E. A., Zhu H., Meyer C. Use of waste glass for construction products: legislative and technical issues // *Recycling and Reuse of Waste Materials : proceedings of the International Symposium 9—11 September 2003, Dundee UK*. Pp. 827—838.

17. Соломатов В. И., Ерофеев В. Т. Структурообразование и свойства композитов на основе боя стекла // *Изв. вузов. Строительство*. 2000. № 9. С. 16—22.

© Положнов А. В., Михалькова А. П., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Положнов А. В., Михалькова А. П. Анализ разработок по созданию высококачественных цементных бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 65—71.

Об авторах:

**Положнов Антон Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Михалькова Аксинья Павловна** — магистрант, кафедра строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [ksenia.mikhalkova@yandex.ru](mailto:ksenia.mikhalkova@yandex.ru)

**Anton V. Polozhnov, Aksin'ja P. Mihal'kova**

**Volgograd State Technical University**

## HIGH-QUALITY CEMENT CONCRETE WITH USE OF TECHNOGENIC WASTE OF THE ENTERPRISES OF THE VOLGOGRAD REGION

The directions of complex use of technogenic waste in development of high-quality construction materials are analysed.

Results of assessment of properties of concrete with use of technogenic waste of the enterprises of the Volgograd region are given.

**Key words:** construction material, high-quality cement concrete, technogenic waste, slag, a cullet, durability on compression.

*For citation:*

Polozhnov A. V., Mihal'kova A. P. [High-quality cement concrete with use of technogenic waste of the enterprises of the Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 65—71.

*About authors:*

**Anton V. Polozhnov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Aksin'ja P. Mihal'kova** — Master's Degree student, Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ksenia.mikhalkova@yandex.ru](mailto:ksenia.mikhalkova@yandex.ru)

УДК 666.972

**А. В. Положнов, А. П. Михалькова**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Показано, что многообразие видов и, соответственно, свойств техногенных отходов предопределяет широкий набор технологических операций, применяемых при производстве и контроле свойств цементных бетонов.

Предложена методология формирования цементных бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области, заключающаяся в последовательном прохождении преобразовательных позиций: состав — технология — структура — свойство.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительный материал, высококачественный цементный бетон, техногенные отходы, методология, физико-химические и физико-механические исследования.

Отрасль строительных материалов является самой потребляемой по объему и видам техногенных отходов в промышленности России.

Реализация актуальной и современной проблемы использования техногенных отходов позволяет решать комплекс технологических, технических, экономических и организационных задач:

- использование отходов региональных предприятий и местного сырья;
- создание региональной материальной строительной базы;
- экономия затрат на приобретение материалов;
- экономия энергетических и транспортных затрат;
- улучшение экологической обстановки [1].

Многообразие видов и, соответственно, свойств техногенных отходов предопределяет широкий набор технологических операций, применяемых при производстве цементных бетонов [1—16].

Именно набор технологических операций обеспечивает получение строительных материалов, в частности цементного бетона с прогнозируемыми технико-экономическими показателями.

Проведенный информационный и технологический анализ техногенных отходов позволяет сделать вывод о наиболее рациональных формах их использования в строительном материаловедении:

- заполнители, в том числе пористые;
- минеральные добавки в вяжущие компоненты;
- добавки-модификаторы [1—6].

Высококачественные цементные бетоны можно с уверенностью назвать основным и широко используемым классом строительных материалов. В то же время развивающееся быстрыми темпами жилищное и дорожное строительство в РФ требует большое количество разнообразных дешевых высококачественных строительных материалов и в том числе цементных бетонов.

Технологические разработки производства цементных бетонов на основе комплексного использования техногенных отходов обусловлены социально-экономическими и экологическими факторами:

значительным ростом цен на цемент, природные заполнители и энергоносители;

ухудшением экологической ситуации в результате образования и накопления промышленных отходов.

В связи с этим актуальным направлением в строительном материаловедении развитых стран и России является производство новых видов строительных материалов на основе техногенных отходов.

Но в данном случае необходимо сделать акцент на то, что создание и производство новых видов высококачественных строительных материалов возможно только при их композиционном построении в материаловедческом плане. Такой подход определяет анализ и учет того факта, что большинство техногенных отходов представляют собой некондиционные материалы с различными примесями и включениями, изменяющимися в широких пределах свойствами.

Комплексный анализ использования и переработки техногенных отходов при создании композиционных строительных материалов позволит:

- установить наиболее перспективные направления их применения;
- осуществить моделирование свойств будущего материала.

Социально-экономические и экологические эффекты могут быть получены только при определенном теоретическом и методологическом подходе в решении комплексных задач использования отходов при производстве строительных композиционных материалов.

В работах [1—16] представлены результаты исследований по использованию промышленных отходов в производстве строительных материалов, итогом которых являются новые технологии производства высококачественных композиционных конструкционных материалов.

*Цель представленной работы* — определение методологии формирования цементных бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области.

Проведен анализ комплексных физико-химических и физико-механических исследований строительных композиционных материалов на основе обзора научно-технической литературы и исследований ученых Института архитектуры и строительства ВолгГТУ.

В настоящей работе рассмотрено применение в качестве компонентов цементного бетона отходов предприятий и местного сырья Волгоградской области:

- ОАО «Волжский абразивный завод»;
- ОАО «Волжский трубный завод»;
- ОАО «Себряковцемент»;
- ЗАО «Орловский Песчаный Карьер»;
- АО «Камышинский стеклотарный завод».

Применение в качестве компонентов техногенных отходов промышленных предприятий позволит не только снизить стоимость строительных композиционных материалов, но и улучшить их физико-химические и эксплуатационные свойства, а также решить проблему утилизации техногенных отходов.

Нами предлагается методология формирования цементных бетонов с использованием техногенных отходов, заключающаяся в последовательном

прохождении преобразовательных позиций: состав — технология — структура — свойство (рис. 1).

Предложенный методологический подход выполним:  
при выполнении последовательных преобразований;  
при учете кристаллохимических особенностей и минералогического состава вводимых компонентов;  
при контроле физико-механических характеристик составляющих компонентов строительного композита.

Именно такой подход позволит обеспечить прогнозируемые физико-механические и эксплуатационные характеристики строительной композиции.

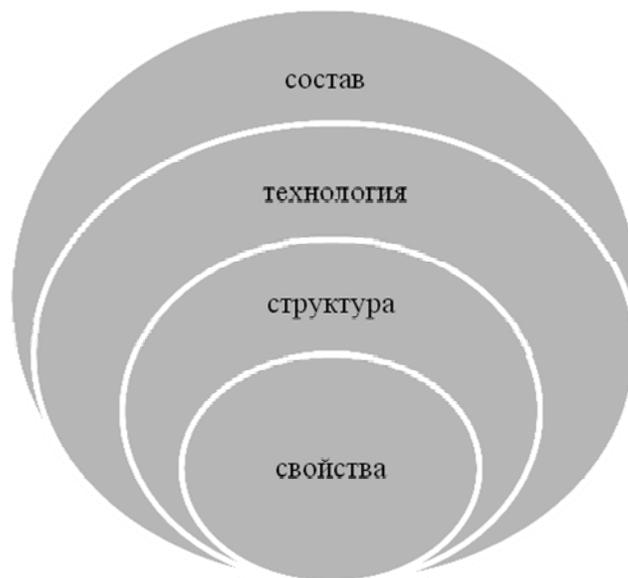


Рис. 1. Методология формирования цементных бетонов с использованием техногенных отходов

### **Состав**

Правомочно подходить к цементному бетону как к композиционному материалу. Бетоны — самые распространенные композиционные материалы.

И в связи с этим свойства такого композиционного материала зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними.

Под оптимальным составом композита следует подразумевать его расчетный состав по объемным или массовым дозировкам компонентов, скорректированным с учетом требований, определяющих формирование стабильной микроструктуры с наименьшим числом микродефектов.

### **Технология**

С одной стороны, технология производства — приемы, способы воздействия на предмет труда, описание операций с целью достижения максимального результата, с другой стороны — способы, приемы и последовательность изготовления продукции, обеспечивающие рациональное использование всех ресурсов.

Техногенные отходы в своем большинстве являются дисперсным порошковым материалом, прошедшим технологический передел переработки: дробление, измельчение вплоть до высокодисперсного состояния, включая процесс механохимической активации.

Технологические параметры производства (гранулометрический и химический состав, дисперсность, форма зерен компонентов, степень однородности смешения и т. п.) ответственны главным образом за макроструктуру.

Процессы твердения и различные граничные процессы, включая диффузионные, ответственны преимущественно за микроструктуру.

Рассмотрение макро- и микроструктуры целесообразно не только с точки зрения масштаба, но и с точки зрения причин, обуславливающих то или иное строение материала.

### **Структура**

В общем случае структура — это характеристики пространственного распределения пор и твердых фаз в строительном композите.

Макроструктура композиционных материалов характеризуется следующими показателями:

- а) величиной и формой зерен компонентов;
- б) количеством и формой пор;
- в) количественным соотношением и взаимным расположением компонентов и пор.

Микроструктура характеризуется следующими показателями:

- а) распределением кристаллов компонентов относительно друг друга;
- б) расположением, формой и размерами кристаллов;
- в) характером границ;
- г) признаками процессов формирования композита — диффузионные, химического взаимодействия и т. д.

Очевидно, что к строительным композитам полностью применимы классические минералогические описания структур.

Учеными ВолгГТУ еще в 80-е годы XX в. был разработан способ изготовления полированных шлифов из композиционных материалов с использованием на всех операциях обработки шлифа (за исключением окончательной его полировки) алмазным инструментом на органической связке (авторская разработка). Этот способ сокращает длительность обработки шлифа примерно в 5—10 раз, сводит к минимуму расход алмазных порошков и обеспечивает высокое и постоянное качество поверхности шлифованных шлифов.

Строительные материалы относятся к материалам композиционного типа, поэтому использование таких разработок при их комплексном исследовании считаем целесообразным.

Классические строительные материалы формируются из следующих основных компонентов: цемент, мелкий заполнитель — песок, крупный заполнитель — щебень, гравий.

Анализ научных и технологических исследований в области строительного материаловедения позволяет констатировать факт применения новых видов заполнителей:

- шлаки;
- металлические заполнители: дробь, стружка;

- керамометаллические заполнители: обточка;
- стеклобой.

Новые составы определяют новые свойства и новые области применения строительных материалов [1, 2, 6].

В связи с этим актуальным на сегодняшний день является изучение строения и свойств многокомпонентных составов строительных материалов, в частности цементных бетонов.

При этом необходимо использовать комплексный подход к набору методов исследований.

**Проведенные макроскопические исследования материалов образцов цементных бетонов, формирование которых проводилось с использованием техногенных отходов и местного сырья предприятий Волгоградской области.**

Макроскопический анализ выявил наличие крупных пор, трещин и других дефектов.

Методические разработки в области микроскопических исследований строительных материалов позволяют судить о микроструктуре образцов.

Для всех исследуемых образцов цементных бетонов характерна многофазно-полиэдрическая структура, типичная для дисперсно-упрочненного композиционного материала (рис. 2).



Рис. 2. Структура образцов бетона с заполнителем — металлургическим шлаком: увеличение  $25\times$  [1]

На поверхности образцов наблюдаются включения темно-серого цвета (шлак) с металлическим блеском, а также бежевого, белого, коричневого цвета (песок, глина).

Отмечено наличие закристаллизованной стекловидной составляющей.

Структура пористая, размер пор — от 0,1 до 1 мм.

#### **Свойства**

Сочетание разнородных веществ: цемента, песка, щебня, гравия, техногенных отходов, что мы имеем в строительной композиции, приводит к созданию нового материала, свойства которого существенно отличаются от свойств каждого из его составляющих.

В нашем случае при исследовании формирования цементных бетонов с использованием техногенных отходов неоднородная гетерофазная структура позволяет наблюдать граничные процессы.

Контактная зона состоит из контактного слоя цементной матрицы, компонентов заполнителя (шлака) и поверхностей раздела диффузионного характера.

Физическая природа образования контактного слоя может быть объяснена применением метода микромеханических исследований — определение микротвердости фаз на твердомере ПМТ-3.

Измеренная твердость составляющих включений бетонной композиции свидетельствует о прочности каркаса матрицы цементного бетона.

Процесс набора прочности межфазной границы характеризуется показателями микротвердости от 0,17 до 0,80 ГПа.

Сцепление объясняется плотным прилеганием и соединением шлакового заполнителя и цементной матрицы, возникающим благодаря шероховатости поверхности шлаковых зерен.

Кубиковая прочность образцов составила 31,0 МПа.

Комплексный подход к набору методов исследования цементных бетонов с использованием техногенных отходов как строительного композиционного материала включает все стадии минералогических исследований и процессов формирования композита, в том числе граничных, с использованием методов физико-механических (микромеханических) исследований.

**Заключение.** Предлагаемая методология формирования цементных бетонов «состав — технология — структура — свойство» как композиционных строительных материалов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области апробирована, подтверждена на опытных образцах и может быть применима к процессам формирования цементных бетонов и прогнозирования их свойств в силу следующих обстоятельств:

учитывает и контролирует состав композиционного материала;

не только подтверждает различия в природе фаз композита, но и прогнозирует, контролирует происходящие физико-химические процессы формирования композита;

регулирует классические способы, приемы и последовательность изготовления бетонного композита или видоизменяет их;

применяет комплексные методы исследования и контроля структуры с учетом граничных процессов, формирующих свойства композита;

анализирует и контролирует свойства цементного бетона.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клавдиева Т. Н.* Разработка составов и повышение эксплуатационных характеристик цементных бетонов при использовании техногенного сырья металлургии : дисс... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010.

2. *Волченко Е. Ю., Акчурин Т. К.* Оптимизация формирования композитов строительного назначения на основе техногенных отходов металлургии и инструментального производства // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 27(46). С. 63—66.

3. *Чернышов Е. М., Коротких Д. Н.* Высотехнологичные высокопрочные бетоны: вопросы управления их структурой // Современные проблемы строительного материаловедения и технологии : материалы Международного конгресса «Наука и инновации в строительстве». Т. 1. Воронеж, 2008. С. 616—620.

4. *Павлов В. Ф.* Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // Строительные материалы. 2003. № 8. С. 28—30.

5. *Баженов Ю. М., Фаликман В. П.* Новый век: новые эффективные бетоны и технологии // Бетон на рубеже третьего тысячелетия : 1-я Всероссийская конференция по проблемам бетона и железобетона. М. : Ассоциация «Железобетон», 2001. С. 91.
6. Формирование керамического композита при использовании компонентов – продуктов вторичного сырья / Е. Ю. Волченко и др. // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы II науч.-техн. конф., г. Волгоград, 24—25 окт. 2009 г. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 113—117.
7. *Chen Zhi Yuan.* Study of CSH-phase within the Transitional Zone // 15 Szilikatip. es szilikatip. tud. Konf., Budapest, 12—16 Jun., 1989: Silicone'89, R. 1. Budapest, 1989. Pp. 267—272.
8. *Xie Song-shan.* Investigation of adhesion in a contact zone of concrete. // Chin. Silic. Soc. 1983. № 4. Pp. 489—497.
9. *Kooyali O. A.* Porosity of Concrete in Relation to the Nature of the Paste-Aggregate Interface // Mater, and Struct. 1987. № 115. Pp. 19—26.
10. *Monteiro P J. M., Mehta P. K.* Interaction between Carbonate Rock and Cement Paste // Cem. and Concr. Res. 1986. № 2. Pp. 127—134.
11. *Ярлушкина С. Х.* Физико-химические процессы, их роль в формировании прочности цементного камня с заполнителями // Структурообразование бетонов и физико-химические методы его исследования : сб. тр. НИИЖБа. М., 1980. С. 60—69.
12. *Barnes B. D., Diamond Sindy, Dolch W. L.* The Contact Zone between Portland Cement Paste and Glass "Aggregate" Surfaces // Cem. and Concr. Res. 1978. № 2. Pp. 233—243.
13. *Perry C., Gillott J. E.* The Influence of Mortar-Aggregate Bond Strength on the Behaviour of Concrete in Uniaxial Compression // Cem. and Concr. Res. 1977. № 5. Pp. 553—564.
14. *Rehm G., Diem P.* Rontgenanalyse des Zementsteins im Bereich der Zuschlage Dtsch // Ausschuss Stahlbeton. 1977. № 283. Pp. 40—55.
15. *Struble L., Mindess S.* Morphology of the Cement-Aggregate Bond // Int. Conf. Bond Concr., Paisley, 14—16 June, 1982, Suppl. Pap. Paisley, s. a. Pp. 1—17.
16. *Xie Song-shan.* Investigation of adhesion in a contact zone of concrete // Chin. Silic. Soc. 1983. № 4. Pp. 489—497.

© Положнов А. В., Михалькова А. П., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

*Положнов А. В., Михалькова А. П.* Методологические подходы к формированию цементных бетонов с использованием техногенных отходов предприятий Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 72—79.

Об авторах:

**Положнов Антон Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, gnomis@yandex.ru

**Михалькова Аксинья Павловна** — магистрант, кафедра строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ksenia.mikhalkova@yandex.ru

**Anton V. Polozhnov, Aksin'ja P. Mihal'kova**

**Volgograd State Technical University**

## **METHODOLOGY OF FORMATION OF CEMENT CONCRETE WITH USE OF TECHNOGENIC WASTE OF THE ENTERPRISES OF THE VOLGOGRAD REGION**

It is shown that the variety of types and, respectively, properties of technogenic waste pre-determines a broad set of the technological operations applied by production and control of properties of cement concrete.

The methodology of formation of cement concrete with use of technogenic waste of the enterprises of the Volgograd region is offered. Consisting in consecutive passing of converting positions: structure — technology — structure — property.

**Key words:** construction material, high-quality cement concrete, technogenic waste, methodology, physical, chemical and physicochemical researches.

*For citation:*

Polozhnov A. V., Mihal'kova A. P. [Methodology of formation of cement concrete with use of technogenic waste of the enterprises of the Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 72—79.

*About authors:*

**Anton V. Polozhnov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Aksin'ja P. Mihal'kova** — Master's Degree student, Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ksenia.mikhalkova@yandex.ru](mailto:ksenia.mikhalkova@yandex.ru)

УДК 656.1

**М. М. Девятков, А. М. Поляков, Е. В. Столетов**

*Волгоградский государственный технический университет*

**ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ  
К ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ  
СЕЛЬСКИХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ  
НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ  
ВОДИТЕЛЬ — АВТОМОБИЛЬ — ДОРОГА — СРЕДА**

Исследование авторами диалектики системы В — А — Д — С позволило обосновать ее эволюционное развитие в новую, современную социально-экономическую и экологически ориентированную, функционально-технологическую транспортно-инфраструктурную систему. С ее помощью определены подходы к формированию современных сетевых и элементных конструктивно-геометрических требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований.

**Ключевые слова:** эволюция системы, логическая модель, транспортная инфраструктура, сетевые требования.

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ, Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года<sup>1</sup>, постановлением Правительства об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов (ПКРТИ)<sup>2</sup> сельские муниципальные образования (СМО) приступили к работе по приведению своей транспортной инфраструктуры в нормативное состояние. Эта целевая установка, как показывает анализ проведенный кафедрой ИПТС ВолгГТУ, сформулирована во всех подвергнутых анализу ПКРТИ СМО, разработанных в соответствии с указанным постановлением<sup>3</sup>.

В соответствии с действующими документами<sup>4</sup> под нормативным состоянием транспортной инфраструктуры СМО понимают автомобильные до-

<sup>1</sup> Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р (в редакции распоряжения Правительства РФ от 11 июня 2014 г. № 1032-р).

<sup>2</sup> Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2015 года № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов».

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85.

СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01—89.

Рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений к главе СНиП 2.07.01—89.

СП 243.1326000.2015. Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения.

СП 99.13330.2016. Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях. Актуализированная редакция СНиП 2.05.11—83.

роги, обеспечивающие безопасное и удобное движение транспортных средств, сервисное обслуживание их пользователей, безопасное движение пешеходов, а также необходимое их обустройство. Оно характеризуется следующими показателями: нормативное время затрат на путь; нормативная обеспеченность сервисного обслуживания транспортных средств; нормативная колесная нагрузка часто встречаемых на автомобильной дороге транспортных средств; нормативная обеспеченность безопасности всех участников дорожного движения; нормативная обеспеченность пешеходного движения; нормативные геометрические параметры автомобильной дороги.

Это, на наш взгляд, не соответствует современным требованиям к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований.

Анализ разработанных ПКРТИ [1, 2] статистических данных и исследований транспортных потоков и состояния автомобильных дорог муниципальных образований за последние годы (2000—2018) позволил установить причины, предпосылки и стимулы, влияющие на выработку современных требований к комплексному развитию транспортной инфраструктуры СМО. Их тесная взаимосвязь между собой и с другими элементами природно-технической системы предопределяет актуальность и целесообразность исследования данной проблемы с использованием экосистемного подхода к инженерно-строительной деятельности [3]. Этот подход в полной мере позволит сформировать современные требования к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований и таким образом решить проблему отсутствия системы индикаторов и закономерностей для описания процесса формирования транспортной инфраструктуры сельских муниципальных образований, отвечающей современным требованиям.

Определяющую роль в решении этой проблемы играет система Водитель — Автомобиль — Дорога — Среда (ВАДС), формирующая весь комплекс требований к транспортной инфраструктуре СМО. Поэтому чрезвычайно важно определить ее современное состояние, находящееся, как показывают исследования [4], в постоянном эволюционном процессе.

Для решения этой задачи установлена сложная система групп взаимосвязанных факторов, влияющих на формирование и развитие этой сложной системы (рис. 1).

Теоретические модели систем эксплуатации автомобильного транспорта В — А — Д — С, использовавшиеся в разные периоды развития теории проектирования и эксплуатации автомобильных дорог известными советскими и российскими учеными Г. Д. Дубелиром, Н. Н. Ивановым, А. К. Бируля, В. Ф. Бабковым, В. К. Некрасовым, В. М. Сиденко, С. И. Миховичем, В. В. Сильяновым, А. П. Васильевым, Е. М. Лобановым, П. И. Поспеловым и др. и представленные схематично на рис. 2, ранее не рассматривались во временной взаимосвязи.

Авторами проведено их исследование с точки зрения теории экосистемного подхода к инженерно-строительной деятельности [3], а также исследование групп взаимосвязанных факторов, влияющих на формирование и развитие этих систем (рис. 1). В ходе исследования также выявлены современные предпосылки, причины и стимулы, влияющие на выработку современных требований к комплексному развитию транспортной инфраструктуры СМО. Это позволяет авторам предложить новую модель эволю-

ции взаимодействующих подсистем как базовую для формирования комплекса требований к транспортной инфраструктуре СМО в современных условиях.



Рис. 1. Система факторов, влияющих на эволюцию системы В — А — Д — С, как системы, формирующей комплекс требований к транспортной инфраструктуре СМО

Таким образом, на современном этапе (2008—2018 гг.) сформировалась современная социально-экономически и экологически ориентированная, функционально-технологическая транспортная инфраструктурная система (СЭЭО — Ф-Т ТИС) (рис. 2).

Для описания этой системы, оценки и прогнозирования состояния ее подсистем в зависимости от различных социально-экономических и технологических сценариев ее развития на кафедре ИПТС разработана логическая модель обоснования перечня соответствующих индикаторов и закономерностей (рис. 3).

В модели использованы следующие обозначения:

ТТС — транспортно-технологические средства (автомобили, тракторы, тракторные поезда, сельскохозяйственная техника, велосипеды, мотоциклы и мопеды, вспомогательные средства для передвижения маломобильных групп населения);

Тр. Инф. — транспортная инфраструктура, учитывающая функциональную классификацию «связь — сбор — доступ»;

Уч. ТТП — участники транспортно-технологических процессов (водители, трактористы, велосипедисты, мотоциклисты, пешеходы, маломобильные граждане);

С-ЭиОС — социально-экономическая и окружающая среда.

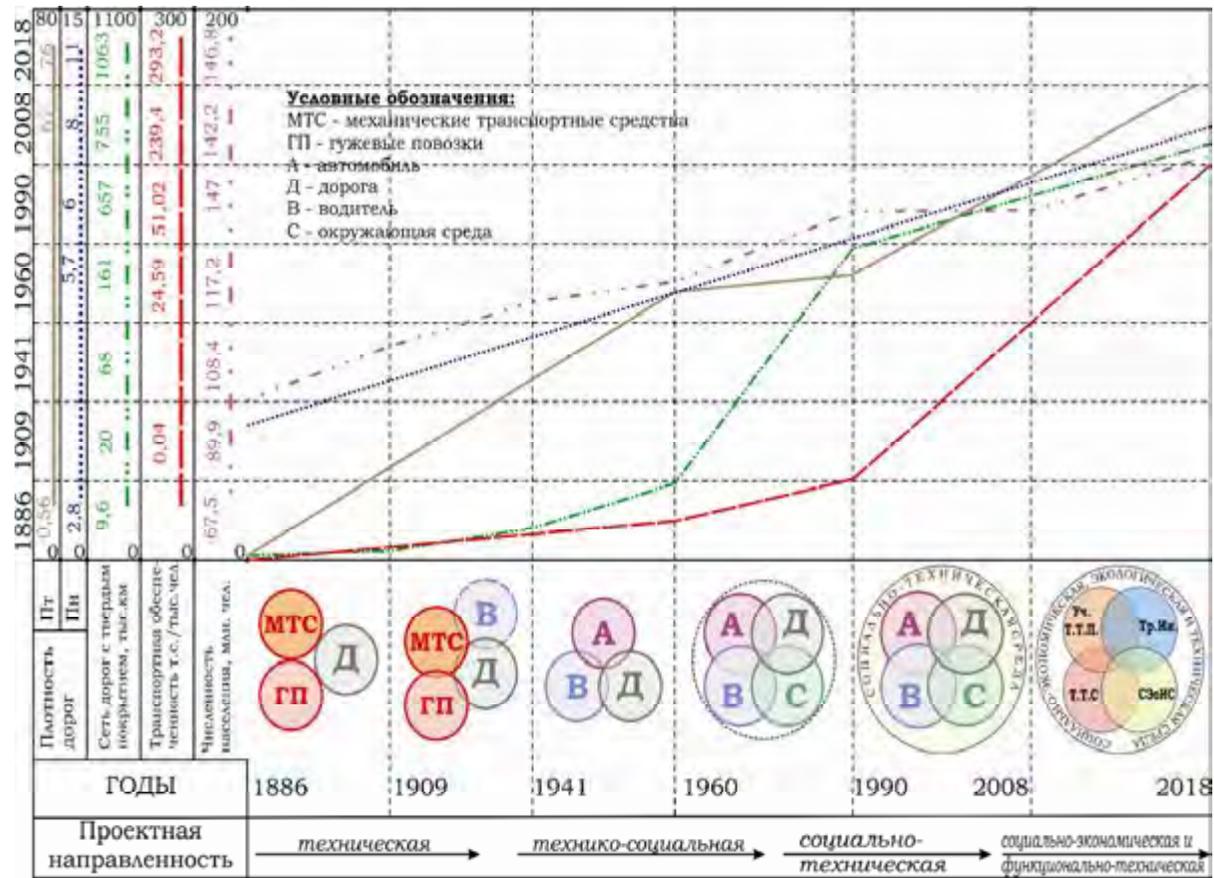


Рис. 2. Эволюция систем, формирующих требования к проектированию и эксплуатации автомобильных дорог, в современную социально-экономически и экологически ориентированную, функционально-технологическую транспортно-инфраструктурную систему (СЭЭО — Ф-Т ТИС).

При этом, как видно из логической модели, в системе складываются 4 зоны (уровня взаимосвязей):

- 1) зона индикаторов состояния элементов подсистемы;
- 2) зона двухэлементных взаимосвязей подсистемы;
- 3) зона трехэлементных взаимосвязей подсистемы;
- 4) зона четырехэлементных взаимосвязей подсистемы.

Сформированная таким образом модель позволяет перейти к обоснованию современных понятий и характеристик нормативного состояния ТИ СМО.

Представляется целесообразным выделить **два уровня** современных требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований:

1. Функционально-сетевые требования, при этом в системе складываются 4 зоны (уровня взаимосвязи) — как видно из логической модели (рис. 3).
2. Функционально-технологические (или элементные), включающие в себя конструктивные и геометрические требования.

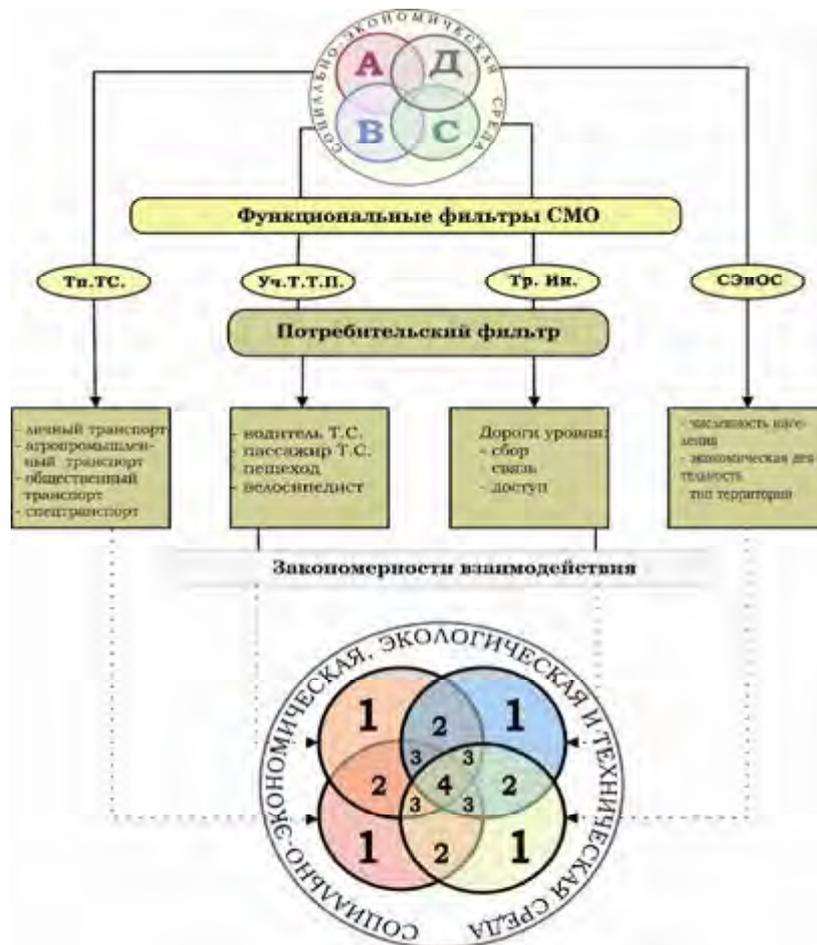


Рис. 3. Логическая модель формирования социально-экономически и экологически ориентированной, функционально-технологической транспортно-инфраструктурной системы (СЭЭО — Ф-Т ТИС)

**На первом уровне** функционально-сетевых требований СЭЭО — Ф-Т ТИС рассматривается с точки зрения формирования сетевых требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований. Она описана авторами ранее [2]. В результате проведенного исследования с использованием теории системного анализа и экосистемного подхода к инженерно-строительной деятельности предложено рассматривать ТИ как сложную систему, включающую в себя четыре подсистемы:

1) транспортное обслуживание социального обеспечения населения — характеризуется коэффициентом обеспечения нормативного времени достижения центров основных социальных услуг;

2) транспортное обслуживание основных технологических процессов — характеризуется коэффициентом степени технологического соответствия конфигурации сети внутрихозяйственных и других участков дорог СМО требованиям транспортных процессов, обеспечивающих технологию производства и вывоза сельскохозяйственной продукции на пункты ее переработки или сбора и хранения;

3) внутренняя транспортная инфраструктура — характеризуется коэффициентом доступности к объектам внутренней инфраструктуры. Эти показатели предлагается определять отношением фактического количества подъездов с твердым покрытием в нормативном состоянии к соответствующим объектам внутренней инфраструктуры в составе сети СМО;

4) транспортно-экологической безопасности сети СМО — характеризуется коэффициентом транспортно-экологической безопасности транспортной инфраструктуры. Эти показатели предлагается определять отношением нормативного (планового) уровня соответствующего ( $j$ -го) показателя транспортно-экологической безопасности —  $I_{тэбнj}$  к фактическому ( $j$ -му) показателю —  $I_{тэбфj}$ .

Таким образом, эта система направлена на характеристику и формирование требований к сетевым показателям транспортной инфраструктуры СМО. Для ее формирования, описания и оценки состояния необходимо обосновать систему соответствующих индикаторов и функциональных закономерностей.

Авторами предлагается перечень следующих индикаторов.

1. Для подсистемы транспортно-технологических средств — коэффициенты обеспечения СМО транспортом ( $I_{сy}$ ). Они определяются отношением соответствующего ( $j$ ) нормативного и фактического обеспечения —  $T_{нj}$  и  $T_{фj}$ :

$$I_{сy j} = T_{нj} / T_{фj}. \quad (1)$$

При этом к нормативному обеспечению относятся:

- личный транспорт;
- агропромышленный транспорт;
- общественный транспорт;
- специальный транспорт;

1.1. Нормативно обеспеченным личным транспортом считается СМО, в котором достигается показатель обеспеченности в 25 %, т. е. 1 автомобиль на 4 человека (принято по среднестатистической российской семье).

$$L_{тp} = \text{кол-во авто/кол-во человек, \%}$$

1.2. Нормативно обеспеченным агропромышленным транспортом считается СМО, в котором все предприятия и хозяйства способны самостоятельно

совершать все технологические операции по возделыванию и транспортировке с/х продукции. Определяется следующими показателями:

- обеспеченностью предприятий СМО сельхозмашинами и тракторами для выполнения технологических операций по возделыванию с/х культур;
- обеспеченностью предприятий СМО транспортном для транспортировки с/х продукции на места переработки и хранения.

1.3. Нормативно обеспеченным общественным транспортом считается СМО, в котором имеется налаженная сеть по перевозке пассажиров из поселения в ближайший районный центр, область, а также возможность доступа к иным проходящим маршрутам.

1.4. Нормативно обеспеченным специальным транспортом считается СМО, в котором располагаются или находятся в пределах транспортной доступности от него основные виды спецтранспорта, к ним относятся: бригада скорой помощи, ППС, бригада МЧС.

2. Для подсистемы транспортной инфраструктуры, направленной на дорожно-транспортную обеспеченность бесперебойного доступа к различным объектам и процессам, — это коэффициенты степени технологического соответствия ( $I_{тс}$ ).

Они определяются отношением протяженности ( $j$ -х) участков дорог в нормативном состоянии —  $S_{нj}$ , обеспечивающих соответствующую доступность, к фактической протяженности этих ( $j$ -х) участков дорог МО —  $S_{фj}$ .

$$I_{тсj} = S_{нj} / S_{фj} \quad (2)$$

Технологическое соответствие определяется следующими требованиями:

1) соответствием конфигурации сети внутрихозяйственных и других участков местных дорог требованиям транспортных процессов, связей между объектами производства и пунктами переработки и хранения, а также связей с дорогами общего пользования;

2) соответствием сети дорог для обеспечения круглогодичной транспортной доступности до центров получения основных услуг населением согласно нормативам;

3) внутриселской обеспеченностью удобного доступа к каждому домовладению и объектам внутренней инфраструктуры.

3. Для подсистемы участников транспортно-технологических процессов — коэффициенты удобства и безопасности дорожного движения ( $I_{дви}$ ).

Эти показатели предлагается определять отношением фактического состояния дорожной инфраструктуры в нормативном состоянии ( $j$ -х) —  $N_{дви, тпj}$  к общему состоянию ( $j$ -х) объектов дорожной инфраструктуры —  $N_{дви, оj}$ .

$$I_{двиj} = N_{дви, тпj} / N_{дви, оj} \quad (3)$$

Они определяются следующими требованиями:

• для водителей ТС — наличие стоянок, СТО, заправок, дорожной разметки, хорошее состояние покрытия а/д и т. д.;

• для пассажиров ТС — наличие остановок, хорошее состояние покрытия а/д, наличие маршрутов общественного транспорта и т. д.

• для пешеходов — наличие тротуаров, пешеходных переходов, освещения в ночное время суток и т. д.;

• для велосипедистов — наличие велосипедных дорожек, пересечений с проезжей частью, освещения в ночное время и т. д.

4. Для подсистемы социально-экономической и окружающей среды — коэффициенты социально-экономической безопасности окружающей среды ( $I_{тэб}$ ).

Эти показатели предлагается определять отношением нормативного (планового) уровня соответствующего ( $j$ -ого) показателя социально-экономической безопасности —  $I_{тэбнj}$  к фактическому ( $j$ -ому) показателю —  $I_{тэбфj}$ :

$$I_{тэбj} = I_{тэбнj} / I_{тэбфj}. \quad (4)$$

При этом к нормативному уровню относятся:

- численность населения (тенденция изменения численности и влияющие на нее факторы);
- экономическая деятельность (производимая в СМО продукция, распределение основных рабочих мест, прочая экономическая деятельность СМО);
- тип территории (перспективы развития, влияние СЭ дея-ти на окружающую среду).

**На втором уровне** — функционально-технологическом — формируются требования к геометрическим и конструктивным элементам транспортной инфраструктуры СМО на основе учета параметров (индикаторов) и закономерностей, описывающих технологические процессы, обеспечиваемые этой инфраструктурой.

В результате детальных исследований технологического процесса (УТЗП ЗК) установлен ряд закономерностей, на основе которых определяются требования к определенным геометрическим или конструктивным параметрам.

Так, в исследованиях специалистов [5] обоснована необходимость определенных очередей уборочного транспорта на разгрузку на заготовительном пункте. Это связано с тем, что стоимость простоя оборудования заготовительного пункта из-за его недогрузки во время короткого и напряженного уборочного периода значительно (в 6—7 раз) превосходит стоимость простоя автомобилей. Поэтому, исходя из экономических соображений, необходимо обоснованно планировать ежечасное поступление транспорта, которое будет создавать постоянную очередь определенной длины из автомобилей. Для ее обоснования в результате исследований установлен ряд закономерностей: распределение суточного объема поступления зерновых стоков на заготовительные пункты в зависимости от их мощности по приему зерновых в течение уборочного периода (рис. 4) в результате многофакторного корреляционного анализа данных, полученных в ходе исследований. Установлены закономерности суточного колебания интенсивности движения уборочного транспорта на подъездах к заготовительным пунктам различного класса (рис. 5).

Кроме того, установлены закономерности изменения величины интервалов между уборочными автомобилями, их длины в очереди на заготовительные пункты, времени задержки после разгрузки для посещения столовой и решения организационных вопросов. Эти данные также необходимы для проектирования рассматриваемых подъездов.

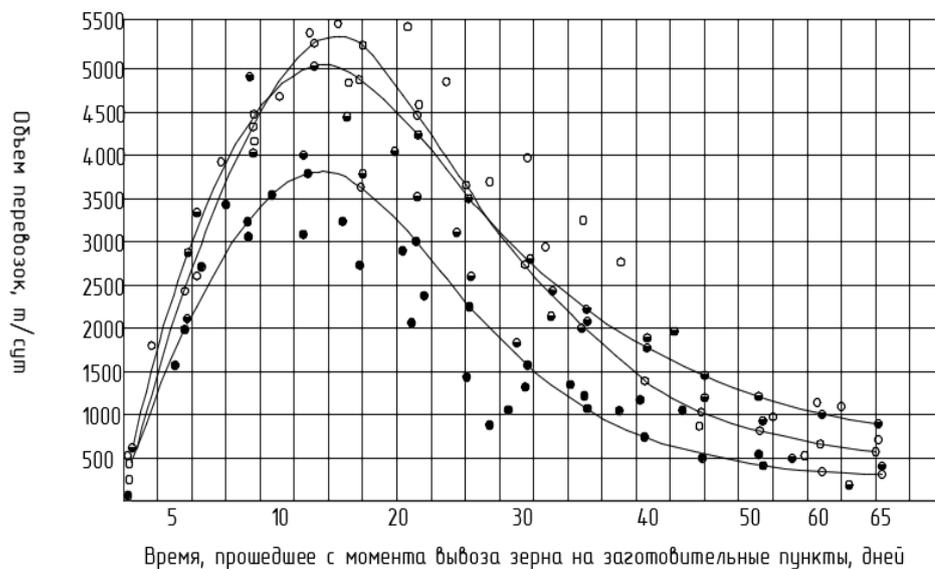


Рис. 4. Закономерности распределения суточного объема поступления зерновых с токов на заготовительные пункты в течение уборочного сезона

В результате обоснована расчетная схема к определению дополнительной полосы на участках подъездов к зерновым заготовительным пунктам (рис. 6) и типовые решения таких подъездов в зависимости от классификации и местоположения заготовительного пункта (рис. 7).

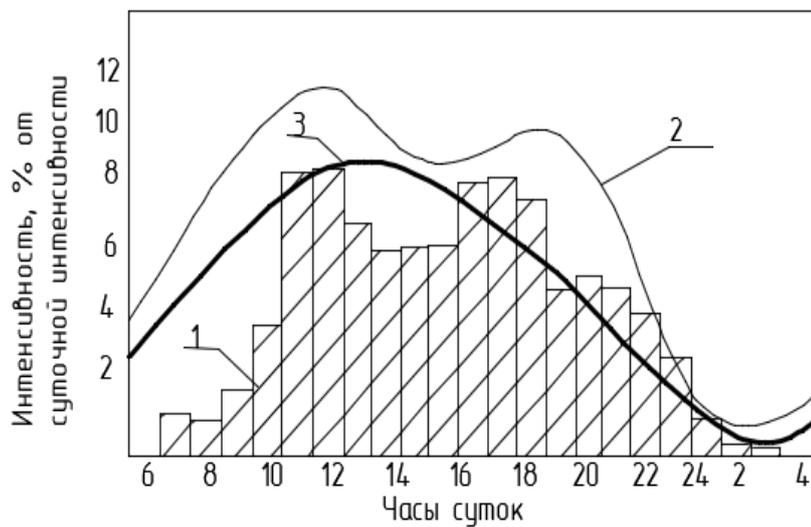


Рис. 5. Закономерности суточного колебания интенсивности движения уборочного транспорта на подъездах к заготовительным пунктам



Рис. 6. Расчетная схема к определению дополнительной полосы на участках подъездов к зерновым заготовительным пунктам при двухстороннем поступлении уборочного транспорта с интенсивностью  $N_1$  и  $N_2$

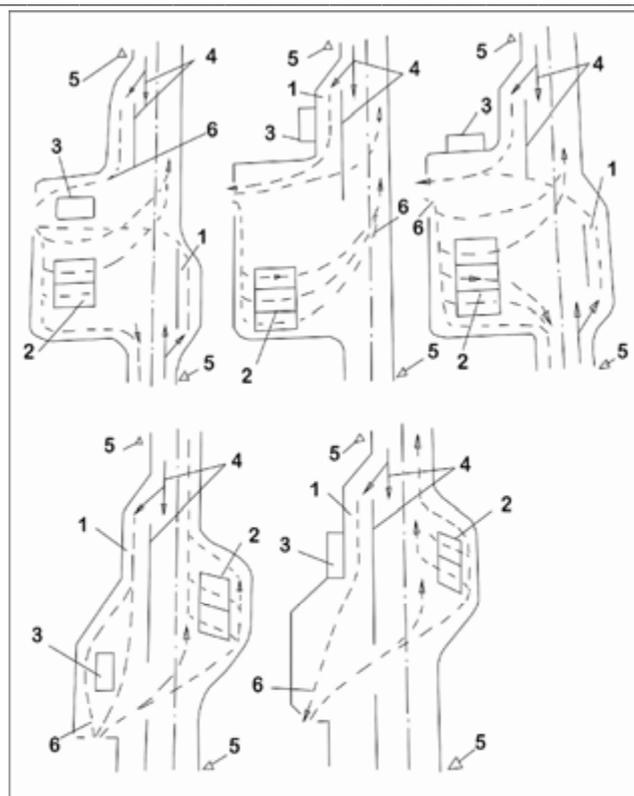


Рис. 7. Типовые решения конструктивной и геометрической конфигурации подъездов к зерновым заготовительным пунктам в зависимости от их классификации и местоположения: 1 — стоянка транспорта, ожидающего разгрузки; 2 — кратковременная стоянка транспорта после разгрузки; 3 — лаборатория заготовительного пункта; 4 — дорожная разметка; 5 — дорожные знаки; 6 — траектория движения уборочного транспорта

#### Выводы:

1. На основе принципов системного анализа и экосистемного подхода с применением диалектического анализа системы факторов, влияющих на эволюцию системы В — А — Д — С, сформирована новая современная логическая модель социально-экономически и экологически ориентированной, функционально-технологической транспортно-инфраструктурной системы (СЭО — Ф-Т ТИС) как системы, формирующей комплекс требований к транспортной инфраструктуре СМО. Она включает в себя требования двух уровней — сетевые и конструктивно геометрические требования.

2. Сетевые требования к транспортной инфраструктуре СМО заключаются в обосновании факторов, определяющих требования к обеспечению транспортной доступности основных жизнеобеспечивающих и социальных услуг населению.

3. Конструктивно-геометрический уровень формирует параметры и закономерности технологических процессов, дающих возможность обоснова-

ния требований к геометрическим и конструктивным характеристикам отдельных участков транспортной инфраструктуры СМО в зависимости от их функционального назначения.

4. В соответствии с разработанной методикой подходов формирования современных требований к транспортной инфраструктуре СМО рассмотрен уборочно-транспортно-заготовительный процесс зерновых культур. В результате установлены параметры и закономерности для формирования требований к геометрическим элементам подъездов к хлебоприемным предприятиям.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Девятков М. М., Поляков А. М.* Разработка унифицированных программ комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципальных образований // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы IV Всероссийской науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), Волгоград, 2017. С. 34—36. URL: <http://vgasu.ru/publishing/on-line/>

2. *Девятков М. М., Столетов Е. В.* Анализ программ комплексного развития транспортной инфраструктуры с использованием систем индикаторов мониторинга их реализации // Сборник трудов конференции «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России». Волгоград, 23—25 мая 2018 г.

3. *Цернант А. А.* Экосистемный подход к инженерно-строительной деятельности (транспортное строительство) // Сборник трудов ЦНИИС. Философия транспортного строительства. 2010. № 255. С. 5—28.

4. *Девятков М. М.* Эволюция систем, формирующих требования к проектированию и эксплуатации автомобильных дорог, как теоретическая основа проектирования их модернизации. Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 9. С. 35—37.

5. *Славуцкий А. К., Носов В. П.* Сельскохозяйственные дороги и площадки. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1986. 447 с.

© *Девятков М. М., Поляков А. М., Столетов Е. В.*, 2019

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Девятков М. М., Поляков А. М., Столетов Е. В.* Формирование современных требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований на основе исследования эволюции системы водитель — автомобиль — дорога — среда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 80—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](mailto:devyatov.50@mail.ru)

**Поляков Александр Михайлович** — аспирант кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [sibryak@gmail.com](mailto:sibryak@gmail.com)

**Столетов Евгений Васильевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [svizist1990@mail.ru](mailto:svizist1990@mail.ru)

---

**Mikhail M. Devyatov, Aleksandr M. Polyakov, Evgenii V. Stoletov**

**Volgograd State Technical University**

**THE FORMATION OF THE MODERN REQUIREMENTS TRANSPORT  
INFRASTRUCTURE RURAL MUNICIPALITIES BASED ON THE STUDY OF THE  
EVOLUTION OF THE SYSTEM THE DRIVER — VEHICLE — ROAD — ENVIRONMENT**

The study by the authors of the dialectic of the V — A — D — S system made it possible to substantiate its evolutionary development into a new, modern socio-economic and environmentally oriented, functional-technological transport and infrastructure system. With its help, approaches to the formation of modern network and elemental structural and geometrical requirements for the transport infrastructure of rural municipalities are determined.

**Key words:** system evolution, logical model, transport infrastructure, network requirements.

*For citation:*

Devyatov M. M., Polyakov A. M., Stoletov E. V. [The formation of the modern requirements transport infrastructure rural municipalities based on the study of the evolution of the system the driver — vehicle — road — 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], 2019, iss. 2, pp. 80—91.

*About authors:*

**Mikhail M. Devyatov** — 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

**Aleksandr M. Polyakov** — Postgraduate student of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sibryak@gmail.com

**Evgenii V. Stoletov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, svizist1990@mail.ru

УДК 528.4:625.7/8

**А. И. Лескин, М. В. Катасонов, Д. И. Гофман**

*Волгоградский государственный технический университет*

**МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРОЕЗДА ИСКУССТВЕННЫХ ДОРОЖНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ  
С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

В работе рассматривается методика расчета вертикальных ускорений, возникающих при наезде транспортных средств на искусственные дорожные неровности проезжей части различной конфигурации. Приводятся основные термины и понятия, примеры расчета, а также модели для определения конфигурации неровностей в зависимости от клиренса автомобиля и его углов свеса.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** вертикальные ускорения, проезжаемость, искусственная дорожная неровность, скорость, транспортное средство.

**Введение.** Искусственные дорожные неровности (ИДН), применяемые на проезжей части улично-дорожной сети, представляют собой возвышения определенного геометрического сечения, которые используются для принудительного воздействия на скоростные режимы транспортных средств (ТС) в потоке. Размеры ИДН определяются исходя из возможности проезда по ним автомобилей на так называемых «вынужденных скоростях», величина которых должна обеспечивать проезд транспортных средств без повреждений, а также характер воздействий ИДН должен заставлять водителя снижать скорость ТС при проезде через них.

Для описания условий преодоления транспортными средствами препятствий на улично-дорожной сети используют термин проходимости ТС [1] или проезжаемости автомобильных дорог [2, 3]. При этом под проходимостью ТС следует понимать способность его двигаться по плохим дорогам и вне дорог, преодолевая встречающиеся на его пути естественные и искусственные препятствия без вспомогательных средств [1]. Под проезжаемостью автомобильной дороги понимают возможность проезда одиночных автомобилей различных типов с минимально допустимой [3] (или «...с заданной...» [2]) скоростью в различные периоды года.

**Постановка задачи.** Для описания условий проезда по искусственным дорожным неровностям предлагается использовать термин «проезжаемость ИДН», под которым следует понимать возможность проезда одиночных автомобилей различных типов с вынужденными скоростями.

Под «вынужденной скоростью» предлагается понимать верхний предел скорости транспортных средств, который из-за механизмов принудительного воздействия водитель вынужден выбирать для движения ТС на отдельных участках автомобильных дорог.

Для описания и учета условий проезжаемости ИДН необходимо учитывать геометрические и динамические факторы.

К числу геометрических факторов относятся:

проезжаемость ИДН по клиренсу (дорожному просвету) ( $C$ ), (рис. 1);

проезжаемость ИДН по продольному радиусу проходимости ( $R_1$ );

проезжаемость ИДН по переднему и заднему углу свеса автомобиля ( $\gamma_1, \gamma_2$ ).

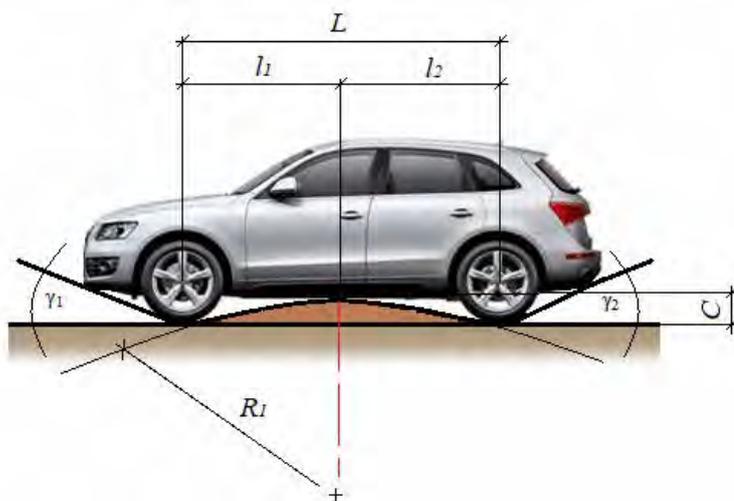


Рис. 1. Продольный радиус и углы свеса автомобиля

Методика определения геометрических факторов проезда автомобилями искусственных дорожных неровностей подробно освещена авторами в работе [4].

К числу динамических факторов следует отнести: величину вертикального ускорения, возникающего при наезде на ИДН ( $a_v$ ,  $m/c^2$ ); коэффициент сцепного веса ( $k_{св}$ ).

Используя предложенные понятия, рассмотрим более детально теоретические принципы обоснования перечисленных факторов.

**Расчет динамических факторов проезжаемости ИДН.** Существующая много лет теория автомобиля, созданная академиком Е. А. Чудаковым, рассматривает механику движения автомобиля и его основные эксплуатационно-технические качества (тяговые и тормозные, управляемость, устойчивость, плавность движения, проходимость и топливную экономичность). Параметры, определяющие эти качества автомобилей, служат основой технических знаний на проектирование и изготовление новых конструкций автомобилей.

Теория эксплуатации автомобилей — наука об эффективном использовании подвижного состава автотранспорта в различных условиях эксплуатации. Она рассматривает вопросы взаимодействия автомобиля и дороги, методы расчета движения автомобилей, пути обеспечения эксплуатационной надежности, безопасности движения подвижного состава, повышения производительности и снижения себестоимости автомобильных перевозок.

Эта теория базируется на широком применении различных математических методов при рассмотрении вопросов эксплуатации автомобилей, выявлении характера влияния разнообразных факторов на эффективность работы подвижного состава, в том числе и неровностей автомобильных дорог.

К настоящему времени в теории эксплуатации автомобилей достаточно хорошо изучены закономерности возникновения и изменения собственных колебаний, колебаний центра тяжести автомобиля. Рассматриваются перемещения передней подвески относительно задней, методы расчета ускорений различных точек автомобилей для неровностей волнообразного и синусои-

дальнего профилей<sup>1</sup> [1—3, 5, 6]. Указанные методы достаточно сложны, а главное, направлены в первую очередь для решения вопросов конструирования и эксплуатации автомобильного транспорта [7, 8]. В связи с этим представляется целесообразным для решения рассматриваемой задачи разработать упрощенный метод определения вертикальных ускорений автомобиля, возникающих при наезде на ИДН.

Учитывая, что максимальная величина ускорения возникает на передней оси автомобиля (рис. 2) [1], то в настоящей методике за расчетную величину принят именно этот показатель ( $a_v$ , м/с<sup>2</sup>).

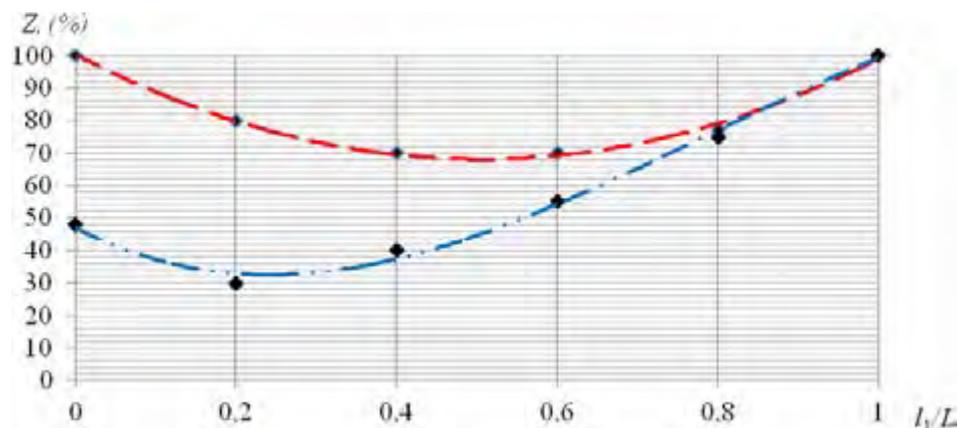


Рис. 2. Распределение вертикальных ускорений по длине корпуса автомобиля (в процентах к максимальному ускорению — вертикальная ось): 1 — для многоосного автомобиля; 2 — для двухосного автомобиля

Кроме этого, в предлагаемой методике сделаны следующие допущения:

1) модуль скорости перемещения транспортного средства ( $\overline{V}_0$ ) остается постоянным во всех точках искусственных неровностей, через которые проезжает транспортное средство (ТС);

2) профиль неровностей является графиком непрерывно дифференцируемой функции, т. е. является гладким, не имеющим переломов и разрывов (что реализуется на практике).

Для определения ускорения на различных участках неровностей используется так называемый шаговый метод, при котором профиль неровностей (график дифференцируемой функции) разбивается на произвольное число частей. В шаговых методах точность определения ускорений будет зависеть от величины шага: чем меньше шаг, тем точнее получаемые результаты.

Считаем, что вектор скорости транспортного средства ( $\overline{V}_1, \overline{V}_2 \dots \overline{V}_n$ ) направлен по касательной к поверхности искусственной дорожной неровности (рис. 3). Если мы имеем отрезок на профиле ИДН  $[x_1, x_2]$ , то можно вычислить векторы скоростей в этих точках  $\overline{V}_1(x_1)$  и  $\overline{V}_2(x_2)$ . Векторное вычитание этих векторов определит изменение скорости  $\overline{\Delta V}$  (рис. 3) на этом участке,

<sup>1</sup> Die Straße im Stadt und Dorf, Heft. 1985. № 113.

т. е.  $\overline{\Delta V} = \overline{V_2} - \overline{V_1}$ . Поделив  $\overline{\Delta V}$  на время прохождения транспортным средством участка  $[x_1, x_2]$ , мы определим среднее ускорение на этом участке, т. е. в точке  $x_{cp} = (x_1 + x_2)/2$ .

Время прохождения участка  $[x_1, x_2]$   $\Delta t$  можно определить либо натуральным измерением, либо расчетным путем (рис. 4).

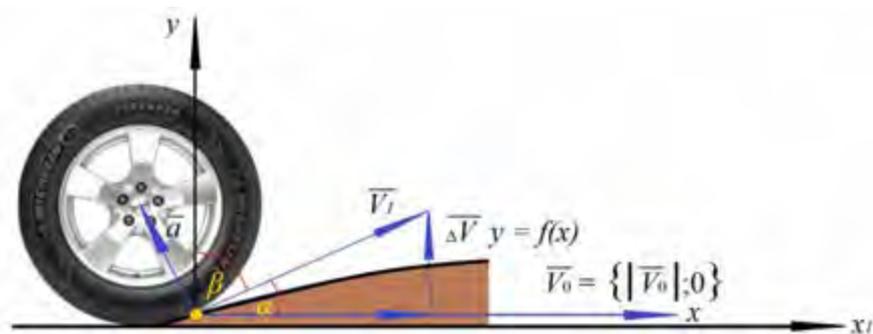


Рис. 3. Взаимодействие переднего колеса автомобиля с ИДН

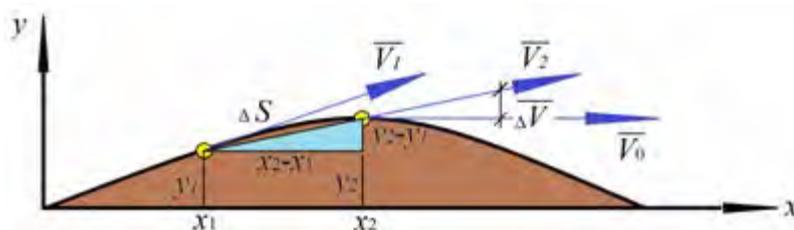


Рис. 4. Схема для расчета времени прохождения участка  $[x_1, x_2]$   $\Delta t$ :  $|\overline{V_0}|$  — модуль скорости перемещения транспортного средства;  $|\overline{V_0}| = \text{const}$

По теореме Пифагора  $\Delta S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$  — длина участка  $[x_1, x_2]$  по профилю (рис. 4), тогда,  $\Delta t = \frac{\Delta S}{|\overline{V_0}|}$ .

Учитывая, что производная в любой точке профиля численно равна тангенсу угла наклона касательной к оси  $Ox$  ( $\alpha$  — рис. 3), направляющие косинусы касательного вектора (вектора скорости  $V_1, V_2$ ), определяются по формулам:

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + [f'(x)]^2}}; \quad (1)$$

$$\cos \beta = \frac{f'(x)}{\sqrt{1 + [f'(x)]^2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — угол между касательным вектором и осью  $Ox$ ;  $\beta$  — угол между касательным вектором и осью  $Oy$  (рис. 3);

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha. \quad (3)$$

Тогда поскольку модуль вектора скорости  $|\bar{V}_1| = |\bar{V}_0|$ , отсюда получаем для координат вектора:

$$\bar{V}_1 = \left\{ \frac{|\bar{V}_0|}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}}; \frac{|\bar{V}_0|f'(x)}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} \right\}. \quad (4)$$

Изменение скорости транспортного средства на отрезке  $[x_1, x_2]$  определяется векторной разностью:

$$\Delta \bar{V} = \bar{V}_1 - \bar{V}_0 = \left\{ \frac{|\bar{V}_0|}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} - |\bar{V}_0|; \frac{|\bar{V}_0|f'(x)}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} \right\}. \quad (5)$$

$$\text{Обозначим: } p = \frac{|\bar{V}_0|}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} - |\bar{V}_0|, \quad (6)$$

$$g = \frac{|\bar{V}_0|f'(x)}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}}. \quad (7)$$

Определим модуль вектора  $|\Delta \bar{V}|$ :

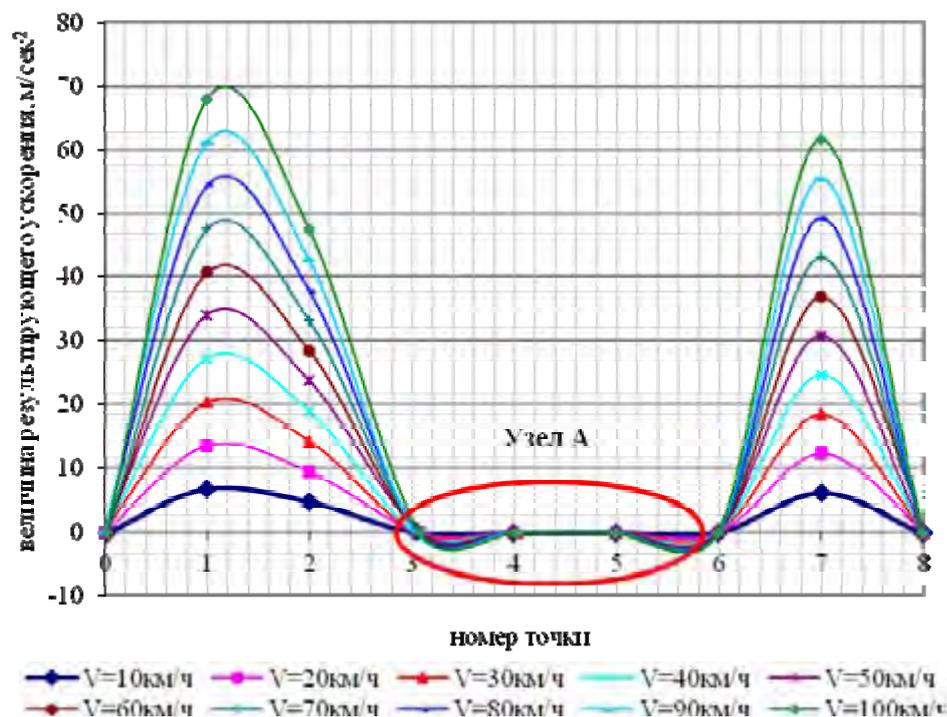
$$|\Delta \bar{V}| = \sqrt{p^2 + g^2}. \quad (8)$$

Поделив модуль  $|\Delta \bar{V}|$  на время движения по участку  $[x_1, x_2]$ , найдем ускорение на этом участке.

$$|a| = \frac{|\Delta \bar{V}|}{\Delta t} = \frac{\sqrt{p^2 + g^2} \cdot |\bar{V}_0|}{\Delta S} = \frac{\sqrt{\frac{|\bar{V}_0|}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} - |\bar{V}_0| + \frac{|\bar{V}_0| \cdot f'(x)}{\sqrt{1+[f'(x)]^2}} \cdot |\bar{V}_0|}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}. \quad (9)$$

При расчете ускорения на следующем участке  $[x_2, x_3]$   $\Delta \bar{V}_1$  определяется разностью векторов  $\bar{V}_2(x_2)$  и  $\bar{V}_3(x_3)$ , получая аналогично  $\Delta \bar{V}_1 = \bar{V}_3(x_3) - \bar{V}_2(x_2)$ , далее расчеты производятся по приведенной выше схеме.

Выполненные таким образом расчеты могут быть представлены в виде графиков изменения величины вертикальных ускорений при движении на различных скоростях при разной конфигурации ИДН (рис. 5).



Узел А

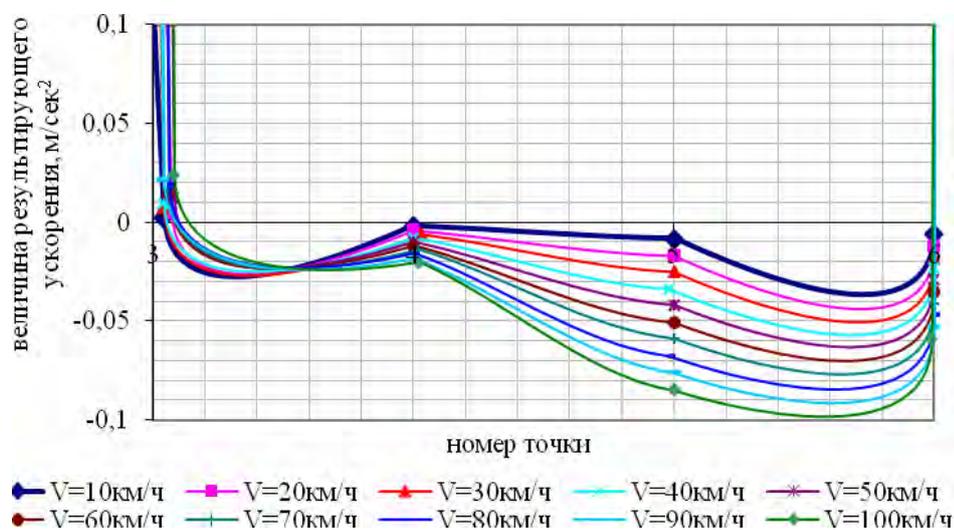


Рис. 5. Пример графика изменения величины вертикального ускорения при различных скоростях движения для циркулярной неровности при  $L = 6,0$  м,  $C = 0,2$  м

**Обсуждение результатов и планирование дальнейших исследований.**

Модель определения вертикальных ускорений при наезде автомобиля на ИДН, предложенная в настоящей работе, позволяет расчетным путем установить ве-

личину вертикальных ускорений, действующих на автомобиль и водителя при наезде на неровность. Вместе с тем для оценки адекватности предложенной модели, а также для установления характера вибрационных воздействий на прилегающую зону представляется целесообразным провести экспериментальные исследования распространения вибрации от наезда на ИДН.

Для выбора и оценки предельных значений вибрационных воздействий следует отметить, что вибрационное воздействие на водителя и автомобиль непродолжительно и длится всего несколько секунд, поэтому в дальнейшем представляется целесообразным оценивать его по величине максимального вертикального ускорения, возникающего при наезде. Выполненные авторами исследования позволили установить граничные интервалы различных уровней воздействия вертикальных ускорений на водителя и автомобиль (табл.).

*граничные интервалы различных уровней воздействия вертикальных ускорений на водителя и автомобиль*

№ п/п	Характер воздействия	Предельные значения вертикального ускорения (краткосрочные, одноразовые), $a$ , $m/s^2$	
		легковой автомобиль	грузовой автомобиль
<b>на водителя</b>			
1	Зона комфортности	0,63...2,5	
2	Зона дискомфорта (вынуждающая водителя снижать скорость)	2,5...4,5	
3	Травмоопасная зона	Свыше 4,5	
<b>на автомобиль</b>			
4	Зона безопасного проезда автомобилем неровностей	$\leq 0,5$	2...2,5
5	Пробой подвески	39,2	
6	Разрушения, поломки элементов подвески	Свыше 39,2	

Для оценки уровня воздействия на прилегающую зону и дорожную одежду, где может присутствовать накопительный эффект результатов вибрационного воздействия при высокой интенсивности движения, представляется целесообразным определить зону распространения вибрационного воздействия в зависимости от вида и скорости транспортных средств, а также его амплитудно-частотные характеристики.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Разработанная математическая модель взаимодействия автомобиля с ИДН позволяет определять величину вертикальных ускорений, действующих на автомобиль, в зависимости от скорости наезда, конфигурации, уклона участка подъема и высоты неровностей, а также модель геометрической проезжаемости искусственных неровностей, дающую возможность рассчитать геометрические параметры неровности по величине клиренса, углу заднего и переднего свеса расчетного автомобиля.

2. Экспериментальная оценка вертикальных ускорений, возникающих при наезде на ИДН, и сопоставление с результатами теоретических расчетов,

полученных в результате моделирования, показали незначительное расхождение результатов (3...5 %), что подтверждает надежность данных, получаемых с помощью разработанной модели.

3. Предлагаемая авторами методика дает возможность ее применения для определения конфигурации и размеров неровностей в зависимости от требуемой величины «вынужденной скорости».

4. Достоинством предложенной методики является возможность получать численные ряды ускорений для любых сочетаний неровностей, от которых можно в дальнейшем переходить к численной оценке коэффициентов ровности и динамичности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григоренко Л. В., Колесников В. С. Динамика автотранспортных средств. Теория, расчет передающих систем и эксплуатационно-технических качеств. Волгоград : Комитет по печати и информации, 1998. 544 с.
2. Экологическая безопасность транспортных потоков / Под ред. А. Б. Дьякова. М. : Транспорт, 1989. 128 с.
3. Bayerisches Landesamt für umweltschutz Pkw Ermissionen bei 50 und 30km/h-ein Vergleich, Peter Rabl, Roland Deimer, 2000.
4. Катасонов М. В., Лескин А. И., Кочетков А. В. Методика определения геометрических факторов проезда автомобилями искусственных неровностей // Науковедение. 2016. Т. 8. № 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN216.pdf>
5. Говорущенко Н. Я. Вопросы теории эксплуатации автомобилей на дорогах с различной степенью ровности. Харьков : Харьковский государственный университет, 1964.
6. Говорущенко Н. Я. Исследование влияния высоты, формы неровностей и скорости движения автомобилей на относительные перемещения кузова и колес // Автомобильный транспорт. 1964. № 1.
7. Кочетков А. В., Беляев Д. С., Шашков И. Г. Определение динамических характеристик процесса взаимодействия транспортных средств с накопленными неровностями автомобильных дорог // Науковедение. 2013. № 4(17). С. 35.
8. Кочетков А. В., Беляев Д. С., Шашков И. Г. Прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия // Науковедение. 2013. № 4(17). С. 38.

© Лескин А. И., Катасонов М. В., Гофман Д. И., 2019

Поступила в редакцию  
в феврале 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Лескин А. И., Катасонов М. В., Гофман Д. И. Методика моделирования проезда искусственных дорожных неровностей проезжей части с учетом динамических факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 92—100.

Об авторах:

**Лескин Андрей Иванович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [leskien@inbox.ru](mailto:leskien@inbox.ru)

**Катасонов Максим Викторович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [max.inga@rambler.ru](mailto:max.inga@rambler.ru)

**Гофман Дмитрий Иванович** — старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [dima.0103@mail.ru](mailto:dima.0103@mail.ru)

**Andrei I. Leskin, Maksim V. Katasonov, Dmitrii I. Gofman**

**Volgograd State Technical University**

**THE METHOD FOR SIMULATING THE PASSAGE OF SPEED BUMPS  
OF THE ROADWAY WITH CONSIDERATION OF DYNAMIC FACTORS**

The paper deals with the method of calculating the vertical accelerations arising from the collision of vehicles on artificial road irregularities of the roadway of different configurations. The basic terms and concepts, examples of calculation, as well as models for determining the configuration of irregularities depending on the clearance of the car and its overhang angles are given.

**Key words:** vertical acceleration, traffic, artificial road roughness, speed, vehicle.

*For citation:*

Leskin A. I., Katasonov M. V., Gofman D. I. [The method for simulating the passage of speed bumps of the roadway with consideration of dynamic factors]. *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], 2019, iss. 2, pp. 92—100.

*About authors:*

**Andrei I. Leskin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [leskien@inbox.ru](mailto:leskien@inbox.ru)

**Maksim V. Katasonov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [max.inga@rambler.ru](mailto:max.inga@rambler.ru)

**Dmitrii I. Gofman** — Senior Lecturer of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [dima.0103@mail.ru](mailto:dima.0103@mail.ru)

УДК 625.7/8

**Д. П. Лучинский<sup>а</sup>, В. Д. Тимоховец<sup>б</sup>, С. П. Санников<sup>б</sup>, А. В. Мармур<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> АО «Мостострой-11»

<sup>б</sup> Тюменский индустриальный университет

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТРОТУАРА ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ СФЕР ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ**

В статье предложены варианты усовершенствования технического тротуара для возможности размещения функциональных конструктивных элементов. Представленные дополнения конструкции позволят повысить удобство обслуживания, безопасность дорожного движения, а также дополнительно усилить бортовой камень, предотвратить переувлажнение грунтов земляного полотна поверхностными водами и обеспечит подвод силового кабеля к утилитарному освещению.

**Ключевые слова:** технический тротуар, безопасность дорожного движения, бортовой камень, водоотводный лоток, силовой кабель, коробчатый лоток, пешеходное ограждение.

В настоящее время сложно представить улицу современного города, не имеющую бордюров<sup>1</sup>. Главным назначением бордюра является обеспечение безопасности, разделение проезжей части от пешеходной, встречных потоков (для организации безопасного передвижения пешеходов), а также от зоны газонного покрытия.

В ходе эксплуатации дорожные бордюры подвергаются агрессивному воздействию окружающей среды: постоянное водонасыщение материала бордюра как при отрицательных, так и положительных температурах; действие водных стоков, загрязненных солями и отходами нефтепродуктов; повреждение материала бордюра микроорганизмами, а также механическое повреждение бордюров автомобилями и отвалами уборочных машин при проведении работ по очистке дорог от снега. В результате дорожный бордюр постепенно разрушается и требует восстановительных работ.

Для повышения долговечности линии бордюрного камня возможно применение износостойкого полиуретанового лака или защитного слоя различными материалами (полимерными, природными). Такие масштабные мероприятия на автомобильных дорогах неэкономичны, лучшим примером увеличения долговечности — это применение гранитного бортового камня. В качестве общих недостатков классической конструкции можно привести: невозможность изолировать газон от устранения воздействия на него химических реагентов; высокую стоимость последующего восстановления поврежденных бортовых камней; отсутствие возможности организации безопасной работы по обслуживанию прикромочной полосы.

Для повышения безопасности дорожного движения, укрепления прикромочной полосы, защиты газонного покрытия, прилегающего к кромке покры-

<sup>1</sup> ГОСТ 32018—2012. Изделия строительно-дорожные из природного камня. Технические условия. Введ. 2014-01-01. М. : Стандартинформ, 2014. 28 с.

ГОСТ 6665—91. Камни бетонные и железобетонные бортовые. Технические Условия. Введ. 1992-01-01. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. 39 с.

тия, повышения удобства работы обслуживающих организаций в различные периоды года при содержании проезжей части, а также размещения ограждений на улицах и городских дорогах Тюменской области устраивается технический тротуар между проезжей частью и газоном, усиливающий бортовой бордюрный камень вдоль кромки, устроенный однорядно по типовому решению (рис. 1) [1].

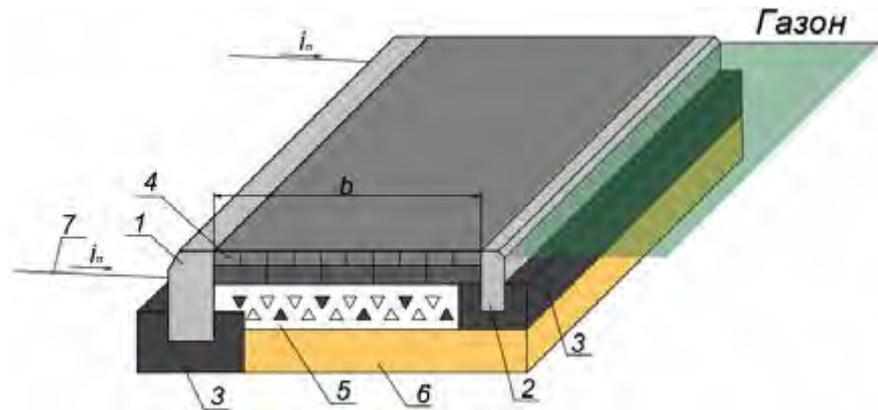


Рис. 1. Конструкция технического тротуара: 1 — бетонный бортовой камень; 2 — тротуарный бортовой камень; 3 — основание из цементобетона; 4 — покрытие из асфальтобетона; 5 — основание из щебня; 6 — выравнивающий слой из песка; 7 — проезжая часть;  $b$  — ширина технического тротуара

В дополнение перечисленных преимуществ конструкция дорожной одежды на применяемых технических тротуарах позволяет вспомогательно усилить бортовой камень, препятствуя «выламыванию» его из основания при воздействии автомобильного колеса и отвалов уборочных машин при проведении работ по очистке от снега. Основание из щебня ограничивает вынос грунта из газона на проезжую часть через швы между бордюрными камнями.

Вместе с тем применение технического тротуара позволяет организовать транзитный переход территории стоянки и вблизи расположения парковочных мест, исключив проход пешехода по площади стоянки после завершения движения на парковочном месте.

В процессе изучения рассматриваемого конструктивного элемента были разработаны варианты усовершенствования технического тротуара для размещения функциональных составных частей.

Для обеспечения приема поверхностной воды по всей своей длине и направления ее в ливневую канализацию устраивается сборная или монолитная конструкция водоотводного лотка по дальней границе технического тротуара у кромки газона. Совмещение технического тротуара с водоотводным лотком позволит предотвратить переувлажнение грунтов земляного полотна поверхностными водами и обеспечит поверхностный сток дождевых и талых вод (рис. 2, *a*). В случае применения водоотводного лотка взамен бортового камня на границе с газоном значительно снизится стоимость и время установки всего блока (рис. 2, *б*).

Технический тротуар с водоотводным лотком вместо бортового камня (рис. 2, *б*) может быть использован при наличии уклона газонной части в

сторону проезжей части, для того чтобы исключить попадание грунта и влаги на проезжую часть, возникающей после дождей или в результате таяния снега. Технический тротуар с отнесенным лотком (рис. 2, *a*) устраивается в случаях, когда направление водоотвода идет не параллельно техническому тротуару к очистным сооружениям и расположен на поверхности газона. При этом решетки лотков представляют первичный фильтр, препятствующий попаданию крупного мусора в общую канализационную систему. Использование водоотводных лотков на прилегающей территории или вдоль технического тротуара предотвратит образование луж и продлит срок службы дорожного полотна.

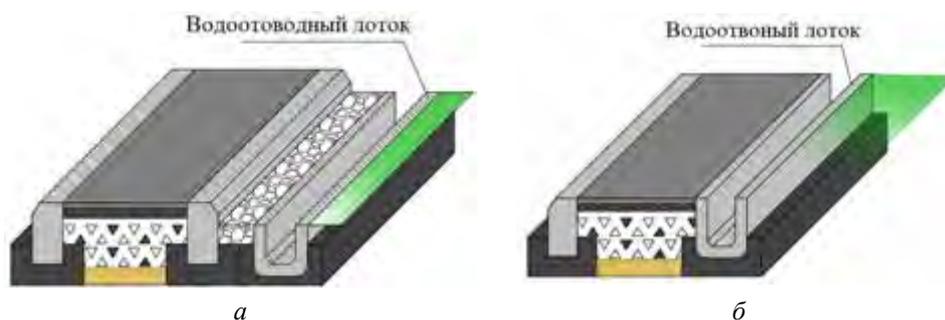


Рис. 2. Конструкция технического тротуара: *a* — с отнесенным водоотводным лотком; *б* — с водоотводным лотком вместо бортового камня

Применение технического тротуара может снизить трудоемкость работ при прокладке силовых кабелей, совместив саму конструкцию и коробчатый лоток. Для передачи электроэнергии потребителю чаще всего используется прокладка кабеля в земле<sup>2</sup>. Достоинством укладки силового кабеля в коробчатых лотках в отличие от прокладки в земле является доступность, поэтому предложено несколько вариантов конструкций с возможностью проложения электрического кабеля. Технический тротуар с коробчатым лотком из железобетона позволит проложить силовой кабель, идущий к наружному освещению (рис. 3, *a*). Такой технический тротуар устраивается для прокладки силового кабеля наружного освещения, при этом опоры светильников устанавливаются, как правило, на расстоянии не менее 0,75...1,0 м от кромки проезжей части<sup>3</sup>, значит, опоры могут быть расположены около лотка технического тротуара. За счет этой конструкции можно обеспечить подвод силового кабеля к освещению и все преимущества классической модели технического тротуара. Технический тротуар с резервной трубой вместо бортового камня позволит проложить в резервной трубе аварийные и ремонтные кабели для будущих коммуникаций (рис. 3, *б*). Технический тротуар с двумя коробчатыми лотками, размещенными друг над другом, позволит проложить электрический кабель, обеспечит удобство обслуживания, упростит демонтаж первой

<sup>2</sup> ГОСТ Р 55706—2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. М. : Стандартинформ, 2016. 10 с.

<sup>3</sup> СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89. М. : Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. N 1034/пр. 94 с.

конструкции (замену или ремонт силового кабеля) за счет лотка, который устроен поверх нижнего, и эта конструкция также применима для прокладки силового кабеля наружного освещения (рис. 3, *в*). Технический тротуар с разборно-съемным коробом из ж/б лотков также позволит проложить кабель (рис. 3, *г*). Применение резервного коробчатого лотка (рис. 3, *б*) позволит провести кабель для иных потребностей, которые возникают впоследствии строительства (реклама, новые торговые центры)<sup>4</sup>.

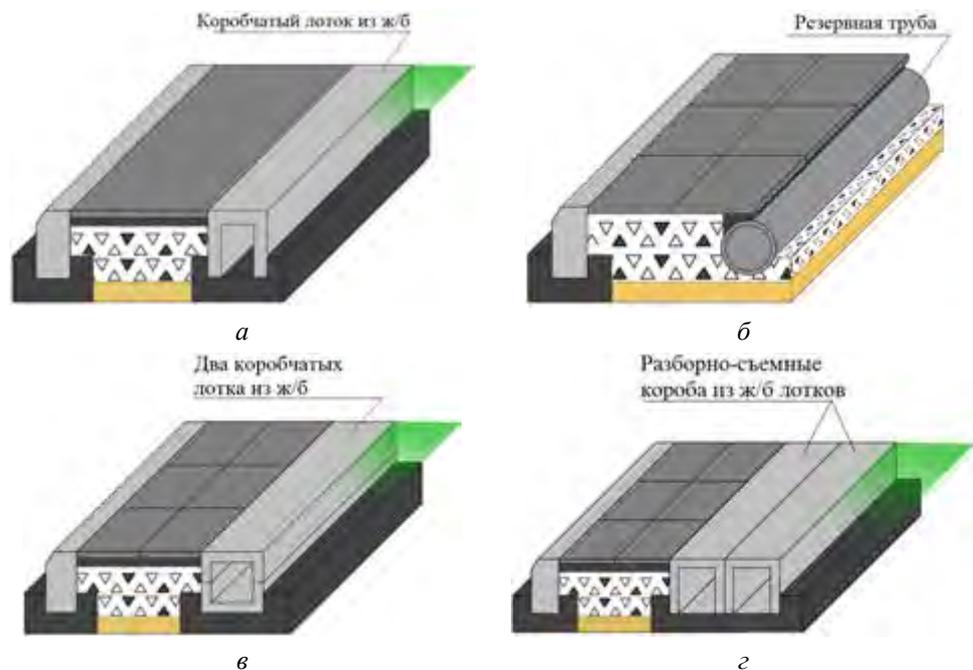


Рис. 3. Конструкция технического тротуара: *а* — с коробчатым лотком из ж/б; *б* — с резервной трубой; *в* — с разборно-съемным коробом из ж/б лотков; *г* — с двумя коробчатыми лотками из ж/б

В предлагаемых конструкциях при выборе типа покрытия следует учитывать назначение проездов и проходов, условия их эксплуатации, а также экономические и эстетические требования. Так, например, может быть применено покрытие, разбитое узором, цветными вставками, отдельными пятнами различной фактуры, мраморными или гранитными плитами.

Для снижения стоимости конструкции технического тротуара при разных уровнях проезжей части и газона предлагается установка бортового камня со стороны газона с высотой, равной разности между уровнями проезжей части и газона, что позволит существенно снизить объем работ и стоимость конструкции. Увеличенный бортовой камень позволит исключить попадание обводненного грунта на проезжую часть и сохранить растительность и корневую систему существующих зеленых насаждений, расположенных более высоко от проезжей части (рис. 4).

<sup>4</sup> Указания по обеспечению безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах. ВСН 25-86 / Минавтодор РСФСР. М. : Транспорт, 1988. 183 с.

Данный конструктив применяется, когда уровень газона выше уровня проезжей части. В таких условиях устраивается классическая конструкция технического тротуара с применением бордюрного камня на дальней кромке, который будет выше уровня газона, для того чтобы исключить попадание грунта на технический тротуар и проезжую часть.

Для обеспечения безопасности всех участников дорожного движения в конструкцию могут быть установлены пешеходные ограждения с готовыми блоками под установку стоек (рис. 5)<sup>5</sup>. Такой технический тротуар устраивается для обеспечения удобства обслуживания и повышения безопасности на магистральных улицах и дорогах с высокой интенсивностью.

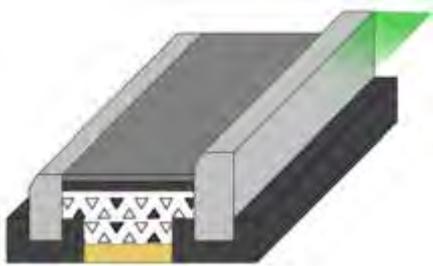


Рис. 4. Конструкция технического тротуара с бордюром на 15 см выше со стороны газона

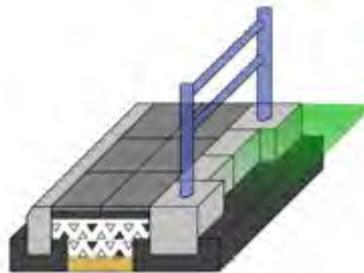


Рис. 5. Конструкция технического тротуара с фундаментом под ограждение

Представленный технический тротуар с перильным ограждением устанавливается для препятствия несанкционированных выходов на проезжую часть. Пешеходные ограждения устанавливаются в бетонный фундамент у края технического тротуара, отделяющего газон от проезжей части на автомобильных дорогах, возле наземных пешеходов, на разделительных полосах.

В процессе проработки конструкций рассчитана ориентировочная стоимость по федеральной сметно-нормативной базе. Локальный сметный расчет выполнен для II дорожно-климатической зоны с учетом стоимости материалов на 2001 год (см. табл.).

Анализ всех предложенных дополнительных возможностей применения технического тротуара показал, что все представленные конструкции имеют свои достоинства и могут быть применены в строительстве в зависимости от условий и своей индивидуальной сущности. Проложить кабель позволит технический тротуар с одной и двумя траншеями, с резервной трубой вместо бортового камня, что увеличит удобство обслуживания. В случае если уровень газона выше уровня проезжей части, целесообразно применение технического тротуара с повышенным бортовым камнем для обеспечения чистоты и защиты зеленой зоны, а также для снижения стоимости. Кроме того, применение цветного покрытия на тротуарах меняет отношение водителей на

<sup>5</sup> ГОСТ Р 52766—2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. М. : Стандартинформ, 2014.

ГОСТ Р 52289—2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (с Изменениями N 1, 2). М. : Стандартинформ, 2014.

опасных участках. При уклоне газона в сторону проезжей части уместна конструкция с водоотводным лотком, которая позволит устранить попадание воды и грязи на проезжую часть.

*Стоимости конструкций технического тротуара*

№	Вид конструкции	Стоимость, руб./км
1	Конструкция технического тротуара с водоотводным лотком	239466,01
2	Конструкция технического тротуара с водоотводным лотком вместо бортового камня	165793,68
3	Конструкция технического тротуара с коробчатым лотком	165124,52
4	Конструкция технического тротуара с резервной трубой	162462,86
5	Конструкция технического тротуара с двумя коробчатыми лотками	177269,31
6	Конструкция технического тротуара с разборно-съёмным коробом	189251,21
7	Конструкция технического тротуара с повышенным бортовым камнем	235124,29
8	Конструкция технического тротуара с фундаментом под ограждение	252463,36

Использование дополнительных конструкций и новых элементов на внутренней границе конструкции технического тротуара для размещения опор и кабеля наружного освещения, пешеходных ограждений (коробчатые лотки, трубы, фланцевые фундаменты для ограждений и т. д.) позволит снизить стоимость объекта в целом, повысит безопасность дорожного движения, укрепит прикромочную полосу и удобство работы обслуживающих организаций в различные периоды года при содержании проезжей части, защитит газонное покрытие, а также позволит дополнительно разместить ограждения, проложить силовые кабели и водоотвод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мармур А. В., Тимоховец В. Д., Лучинский Д. П. О выборе конструкции технического тротуара // Сборник публикаций научного журнала «Globus» по материалам XXXIII Международной науч.-практ. конф. «Технические науки — от теории к практике» г. Санкт-Петербурга : сборник со статьями. СПб. : Globus, 2018.

© Лучинский Д. П., Тимоховец В. Д., Санников С. П., Мармур А. В., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Модернизация конструкции технического тротуара для расширения сфер его применения / Д. П. Лучинский, В. Д. Тимоховец, С. П. Санников, А. В. Мармур // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 101—107.

Об авторах:

**Лучинский Дмитрий Павлович** — заместитель главного инженера, АО «Мостострой-11». Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, luchinsky@ms11.ru

**Тимоховец Вера Дмитриевна** — старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, timohovetsvd@tyuiu.ru

**Санников Сергей Павлович** — канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, sannikovsp@tyuiu.ru

**Мармур Анна Владиславовна** — студент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, marmur.anna1998@gmail.com

**Dmitry P. Luchinsky<sup>a</sup>, Vera D. Timokhovets<sup>b</sup>, Sergey P. Sannikov<sup>b</sup>, Anna V. Marmur<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Mostostroy-11, JSC*

<sup>b</sup> *Industrial University of Tyumen*

## ADDITIONAL OPPORTUNITIES FOR THE APPLICATION OF TECHNOLOGY PASTE

The article offers options for improvements to the technical sidewalk for the possibility of establishing features of the action and placement of functional components. The presented designs will improve the convenience of maintenance, safety, as well as further strengthen the side stone, prevent over-wetting of the subgrade soil by surface waters.

**Key words:** technical sidewalk, safety, side stone, improvement.

### *For citation:*

Luchinsky D. P., Timokhovets V. D., Sannikov S. P., Marmur A. V. [Additional opportunities for the application of technology paste]. *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], 2019, iss. 2, pp. 101—107.

### *About authors:*

**Dmitry P. Luchinsky** — Deputy Chief Engineer, Mostostroy-11, JSC. 2, Lunacharskogo St., Tyumen, Russian Federation, luchinsky@ms11.ru

**Vera D. Timokhovets** — Senior Lecturer at the Department of Highways and Airfields, Industrial University of Tyumen. 2, Lunacharskogo St., Tyumen, Russian Federation, timohovetsvd@tyuiu.ru

**Sergey P. Sannikov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Head of Road and Airfields Department, Industrial University of Tyumen. 2, Lunacharskogo St., Tyumen, Russian Federation, sannikovsp@tyuiu.ru

**Anna V. Marmur** — Student of Highways and Airfields Department, Industrial University of Tyumen. 2, Lunacharskogo St., Tyumen, Russian Federation, anna1998@gmail.com

УДК 622.691.4.07

**О. Н. Медведева, Н. С. Бессонова**

*Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩИХ АППАРАТОВ**

Представлена методика и результаты оптимизации газораспределительных систем с учетом рациональных форм построения газовых сетей, способствующие повышению надежности их функционирования. Описаны условия вычислительного эксперимента, выполненного на примере газоиспользующего оборудования, для оценки эффективности с использованием относительного коэффициента полезного действия при переменных режимах работы. Результаты исследования обобщены в виде расчетной зависимости. Обоснованы условия эффективной работы газоиспользующих установок с учетом основных требований по обеспечению их эффективной, надежной и безопасной работы.

**Ключевые слова:** газоснабжение, эффективность, газоиспользующее оборудование, стабилизатор давления.

Значительные масштабы газификации страны, превысившие на сегодняшний день 68 %, при этом приоритет в рамках программы газификации отведен сельской местности, где соответствующий показатель составляет 58,7 %, требуют серьезного изучения вопросов по реконструкции существующих мощностей и созданию рациональных схем газоснабжения, отвечающих современным требованиям надежности и технико-экономической эффективности.

Существующая на сегодняшний день практика проектирования систем газораспределения и газопотребления свидетельствует о нерациональном подходе к процессу выбора системы газоснабжения, ее структуры, определению оптимального варианта присоединения потребителей к сетям, обоснование оптимального количества сосредоточенных потребителей, определение оптимальной глубины ввода сетей низкого и среднего давлений в общую структуру и другие немаловажные вопросы. Кроме того, решения, принятые в период становления газовой промышленности в нашей стране, морально устарели, и степень износа некоторых элементов газораспределительной системы превышает нормативный срок эксплуатации.

Цель исследования — разработка технических решений и методов расчета для повышения эффективности эксплуатационных процессов газораспределительных сетей и оборудования.

Газовые сети низкого давления — наиболее протяженная часть в структуре распределительных систем газоснабжения, соответственно, на их долю приходится большая часть приведенных затрат. При проектировании газовых сетей задается определенная величина расчетного перепада давления ( $\Delta P_p$ ), регламентируемая нормативными документами<sup>1</sup>. Однако при этом не указы-

<sup>1</sup> СП 42-101—2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. М. : ЗАО «Полимергаз», 2003. 167 с.

вается величина номинального давления газа перед приборами, напрямую связанная с  $\Delta P_p$ . Теоретическое обоснование величины расчетного перепада давления представлено в [1], откуда следует, что при максимальной величине давления газа в сети низкого давления (3 кПа) номинальное давление газа перед газоиспользующим прибором должно составлять 2000 Па.

На данный момент в газоснабжающих системах низкого давления остро стоит проблема перегрузки существующих сетей, при этом газоиспользующее оборудование зачастую эксплуатируется в режимах, отличных от номинального, что чревато возникновением аварийных ситуаций (например, проскок или отрыв пламени) и увеличенным расходом газа, что приводит к существенному снижению коэффициента полезного действия (КПД) используемого оборудования.

Эффективная работа газовых горелок газоиспользующих аппаратов обеспечивается в определенном диапазоне допустимых величин давлений газа. Таким образом, для каждого газоиспользующего оборудования мы имеем некий диапазон давления ( $P_{\min}$  —  $P_{\max}$ ), при котором гарантируется его оптимальная работа без отрыва и проскока пламени, а значит и без потенциально аварийных и опасных для жизни ситуаций.

Рассматривая проточные газовые водонагреватели, находящиеся в группе давлений  $P_{\text{ном}} = 1300/2000$  Па с допустимым перепадом давлений  $P_o = 596/150$  Па, согласно [2, 3] оптимальным КПД является значение 82...84 %, но не более 89 % при допустимом отклонении тепловой мощности  $\pm 5$  % (рис. 1).

Как следует из рис. 1, диапазон эффективной работы проточного водонагревателя крайне мал. Согласно<sup>2</sup> [4] коэффициент полезного действия установок:

$$\eta = \frac{mc(t_2 - t_1)}{Q_{\text{н}}^p B \sqrt{P}}, \quad (1)$$

где  $m$  — расход воды в проточном водонагревателе, кг/ч;  $c$  — удельная теплоемкость воды, кДж/кг · °С;  $t_1, t_2$  — температурные параметры теплоносителя на входе и выходе из водонагревателя, °С;  $Q_{\text{н}}^p$  — низшая теплота сгорания, МДж/м<sup>3</sup>;  $B$  — проводимость водонагревателя, м<sup>3</sup>/(ч · Па<sup>0,5</sup>);  $P$  — фактическое давление газа перед водонагревателем, Па.

При прочих равных условиях зависимость КПД водонагревателя от фактического давления газа неоспорима и составляет 1 % на 80...100 Па.

---

СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01—2002 (с Изменениями № 1, 2). М. : Госстрой, 2014. 70 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 31856—2012. Водонагреватели газовые мгновенного действия с атмосферными горелками для производства горячей воды коммунально-бытового назначения. Общие технические требования и методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2013. 114 с.

ГОСТ Р 54961—2012. Системы газораспределительные. Сети газопотребления. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация. М. : Стандартинформ, 2013. 54 с.

При  $P_0 = 150$  Па полученные результаты являются допустимыми и не оказывают значительного влияния на эффективность работы водонагревателя. Однако при  $P_0 = 596$  Па изменение КПД получается равным  $\pm 6\%$ , что, как мы видим из рис. 1 и 2, не соответствует диапазону допустимой величины коэффициента полезного действия проточных водонагревателей. Понижение КПД водонагревателя при давлении газа ниже номинального обуславливается уменьшением объема факела, пониженной интенсивностью теплообмена и увеличенным коэффициентом избытка воздуха (рис. 2). Понижение КПД водонагревателя при давлении газа выше номинального обуславливается увеличенными потерями тепла за счет отходящих продуктов сгорания, которые не успевают отдавать тепло теплообменным поверхностям в оптимальном режиме. При продолжительной работе водонагревателя на пониженном давлении газа снижается мощность работы горелок [5, 6].

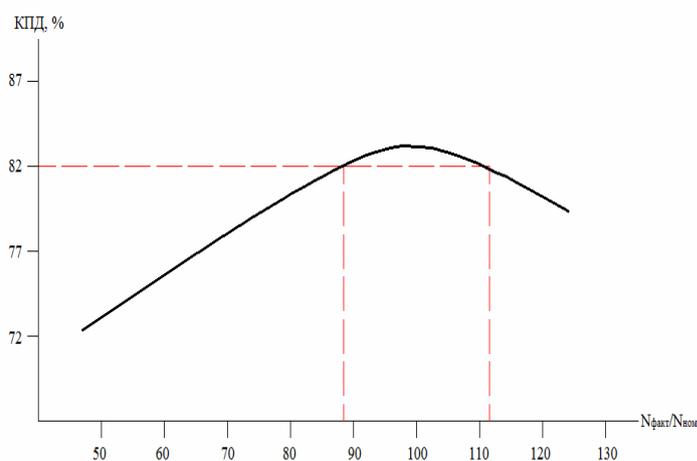


Рис. 1. Зависимость коэффициента полезного действия от фактической тепловой мощности проточных водонагревателей

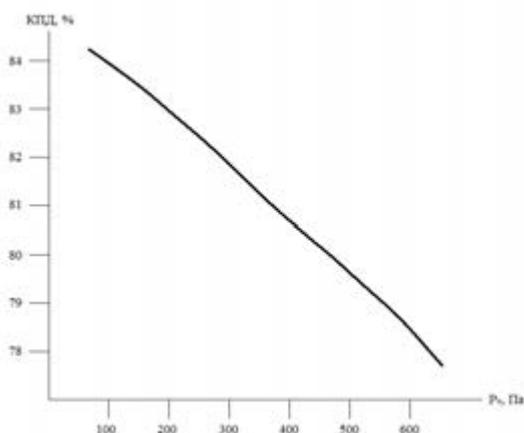


Рис. 2. Зависимость коэффициента полезного действия проточных водонагревателей от перепада давления газа

Согласно паспортным данным газогорелочных устройств определить допустимое изменение мощности горелки можно через коэффициент предельного регулирования  $K_{пр}$  [1]. Данный коэффициент задает допустимый предел изменения давления газа на входе в газоиспользующее устройство, обеспечивающий эффективную и безопасную работу:

$$K_{пр} = \frac{N_{max}}{N_{min}} = \frac{N_{ном} \sqrt{\frac{P_{max}}{P_{ном}}}}{N_{ном} \sqrt{\frac{P_{min}}{P_{ном}}}} = \frac{\sqrt{\frac{P_{max}}{P_{ном}}}}{\sqrt{\frac{P_{min}}{P_{ном}}}} = \sqrt{\frac{P_{max} \cdot P_{ном}}{P_{min} \cdot P_{ном}}} = \sqrt{\frac{P_{max}}{P_{ном}}}. \quad (2)$$

В настоящее время проточные водонагреватели должны отвечать следующим значениям требуемого давления перед газогорелочным устройством<sup>3</sup>:

при  $P_{ном} = 2000$  Па:  $P_{max} = 2300$  Па и  $P_{min} = 1800$  Па;

при  $P_{ном} = 1300$  Па:  $P_{max} = 1650$  Па и  $P_{min} = 900$  Па.

Соответственно:

при  $P_{ном} = 2000$  Па —  $K_{пр} = 1,13$ ;

при  $P_{ном} = 1300$  Па —  $K_{пр} = 1,35$ .

Следовательно, диапазон регулирования газовых водонагревателей, работающих при номинальном давлении 1300 Па больше, чем у аппаратов, работающих при номинальном давлении 2000 Па на 15 %. Таким образом, для эффективной и безопасной работы проточных водонагревателей необходимо учитывать коэффициент предельного регулирования, чтобы обеспечить оптимальную работу устройства.

Тем не менее и допустимый перепад давлений, и оптимальный коэффициент полезного действия для проточных водонагревателей регламентированы<sup>4</sup>. Исходя из чего, оптимальным решением проблемы является применение стабилизаторов давления газа либо использование проточных водонагревателей с встроенным регулятором давления газа.

Максимальная неравномерность регулирования выходного давления составляет 10 %<sup>5</sup>, что в нашем случае дает не более 130 Па и полностью удовлетворяет требованиям к давлению газа на входе в бытовые газоиспользующие приборы.

Для оценки тепловой эффективности водогрейных газовых аппаратов при проведении экспериментальных исследований удобнее использовать от-

<sup>3</sup> ГОСТ 31856—2012. Водонагреватели газовые мгновенного действия с атмосферными горелками для производства горячей воды коммунально-бытового назначения. Общие технические требования и методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2013. 114 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 31856—2012. Водонагреватели газовые мгновенного действия с атмосферными горелками для производства горячей воды коммунально-бытового назначения. Общие технические требования и методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2013. 114 с.

ГОСТ Р 54086—2010. Стабилизаторы давления. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2011. 20 с.

<sup>5</sup> Там же.

носительный коэффициент полезного действия [2], который определяется отношением величин КПД аппарата при текущем и номинальном режимах эксплуатации и требует при проведении экспериментов определения только давления газа и температуры теплоносителя при соответствующих рабочих режимах:

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta}{\eta_{\text{ном}}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ном}}}{P} \frac{t_2 - t_1}{t_2^{\text{ном}} - t_1^{\text{ном}}}}, \quad (3)$$

где  $P$ ,  $P_{\text{ном}}$  — текущее и номинальные значения давления газа перед газоиспользующим прибором, Па.

Испытания газовых аппаратов проводились на экспериментальной установке (рис. 3) при следующих значениях начальной температуры воды:

котлы газовые водогрейные  $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

газовый проточный водонагреватель  $t_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

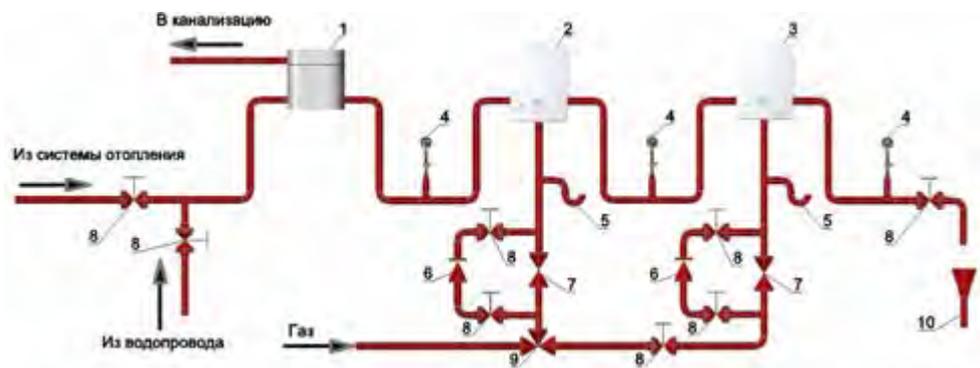


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Постоянство температуры  $t_1$  обеспечивалось регулированием расхода газа и непрерывно контролировалось с помощью термометра. Конечная температура воды на выходе из аппаратов при их работе на номинальном режиме эксплуатации ( $P_{\text{ном}} = 2000 \text{ Па}$ ) обеспечивалась в следующих пределах:

котлы газовые водогрейные  $t_2^{\text{ном}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

газовый проточный водонагреватель  $t_2^{\text{ном}} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Номинальный расход воды на экспериментальном стенде  $m_{\text{ном}}$  устанавливался регулирующим вентилем из условия поддержания заданных значений температуры воды на выходе из аппарата  $t_2^{\text{ном}} = \text{const}$  и поддерживался постоянным как при номинальном, так и при других режимах эксплуатации аппаратов.

Испытания аппаратов проводились при переменной тепловой мощности, регулирование которой осуществлялось изменением давления газа на входе в аппарат и контролировалось манометром.

Замеры всех параметров проводились после установления стационарного теплового режима, при котором температура воды на входе и на выходе из аппарата оставалась практически постоянной в течение 10 минут. Замеры экспериментальных параметров дублировались не менее 6 раз с интервалом в

5 минут для каждого режима эксплуатации с последующим обобщением результатов методами математической статистики.

Для определения тепловой эффективности газоиспользующих аппаратов были проведены соответствующие экспериментальные исследования, результаты которых на примере котла Proterm при нескольких режимах его эксплуатации представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты экспериментальных исследований котла Proterm*

Номинальный режим испытаний:

$$P_{\text{ном,ср}} = 2008 \text{ Па}; t_{2,\text{ср}}^{\text{ном}} = 60,5 \text{ }^\circ\text{C}; t_{1,\text{ср}}^{\text{ном}} = 39,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Номер измерения	$P_{\text{ном}}$ , Па	$P_{\text{ном,ср}}$ , Па	$t_2^{\text{ном}}$ , °C	$t_{2,\text{ср}}^{\text{ном}}$ , °C	$t_1^{\text{ном}}$ , °C	$t_{1,\text{ср}}^{\text{ном}}$ , °C	$\eta_{\text{отн}}$
1	2020	2008	60,5	60,5	39,8	39,7	1
2	2000		60,4		39,9		
3	1990		60,2		39,5		
4	2010		60,6		39,6		
5	2030		60,5		39,7		
6	2000		60,6		39,8		

Режим испытаний:  $P_{\text{ср}} = 813 \text{ Па}; t_{2,\text{ср}} = 51,9 \text{ }^\circ\text{C}; t_{1,\text{ср}} = 39,9 \text{ }^\circ\text{C}$

Номер измерения	$P$ , Па	$P_{\text{ср}}$ , Па	$t_2$ , °C	$t_{2,\text{ср}}$ , °C	$t_1$ , °C	$t_{1,\text{ср}}$ , °C	$\eta_{\text{отн}}$
1	820	813	51,8	51,9	39,8	39,9	0,948
2	810		52,1		39,9		
3	830		51,8		39,9		
4	800		51,8		40,1		
5	820		51,9		40,1		
6	800		52		40		

Режим испытаний:  $P_{\text{ср}} = 1055 \text{ Па}; t_{2,\text{ср}} = 53,65 \text{ }^\circ\text{C}; t_{1,\text{ср}} = 40,03 \text{ }^\circ\text{C}$

Номер измерения	$P$ , Па	$P_{\text{ср}}$ , Па	$t_2$ , °C	$t_{2,\text{ср}}$ , °C	$t_1$ , °C	$t_{1,\text{ср}}$ , °C	$\eta_{\text{отн}}$
1	1070	1055	53,7	53,65	40,1	40,03	0,962
2	1040		53,4		40,2		
3	1050		53,7		40,1		
4	1070		53,8		39,9		
5	1060		53,7		39,9		
6	1040		53,6		40,0		

Режим испытаний:  $P_{\text{ср}} = 1246 \text{ Па}; t_{2,\text{ср}} = 55,3 \text{ }^\circ\text{C}; t_{1,\text{ср}} = 40,01 \text{ }^\circ\text{C}$

Номер измерения	$P$ , Па	$P_{cp}$ , Па	$t_2$ , °C	$t_{2cp}$ , °C	$t_1$ , °C	$t_{1cp}$ , °C	$\eta_{отн}$
1	1240	1246	55,5	55,3	39,8	40,01	0,977
2	1260		55,3		39,9		
3	1260		55,2		40,2		
4	1240		55,5		40,1		
5	1230		55,4		40,0		
6	1250		55,3		40,1		

Режим испытаний:  $P_{cp} = 1605$  Па;  $t_{2cp} = 57,6$  °C;  $t_{1cp} = 39,4$  °C

Номер измерения	$P$ , Па	$P_{cp}$ , Па	$t_2$ , °C	$t_{2cp}$ , °C	$t_1$ , °C	$t_{1cp}$ , °C	$\eta_{отн}$
1	1610	1605	57,7	57,6	39,2	39,4	0,99
2	1620		57,6		39,5		
3	1590		57,5		39,4		
4	1610		57,6		39,3		
5	1590		57,8		39,5		
6	1610		57,8		39,3		

Режим испытаний:  $P_{cp} = 2955$  Па;  $t_{2cp} = 63,7$  °C;  $t_{1cp} = 39,9$  °C

Номер измерения	$P$ , Па	$P_{cp}$ , Па	$t_2$ , °C	$t_{2cp}$ , °C	$t_1$ , °C	$t_{1cp}$ , °C	$\eta_{отн}$
1	2960	2955	63,6	63,7	39,9	39,9	0,977
2	2970		63,7		39,8		
3	2940		63,9		4,0		
4	2960		63,8		40,1		
5	2940		63,9		39,9		
6	2960		63,7		40,1		

Как следует из анализа данных табл. 1, на эффективность использования топлива значительное влияние оказывают режимы эксплуатации газового аппарата. Так, например, при работе оборудования на номинальном режиме (2000 Па) относительный КПД равен 1. В то же время при понижении давления до 800 Па (соответственно, при снижении тепловой мощности на 2/3 от номинального значения) величина относительного коэффициента полезного действия уменьшается до 0,948, что равноценно снижению более чем на 5 %.

Результаты оценки погрешности результатов экспериментальных измерений при нескольких режимах эксплуатации котла представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, результирующая погрешность экспериментальных значений относительного КПД котла находится в пределах 1,36...1,9 (с доверительной вероятностью 0,96), что соответствует требованию ГОСТ к точности экспериментальных исследований.

Т а б л и ц а 2

*Погрешность результатов экспериментальных исследований*

Номинальный режим испытаний:  $P_{\text{ном,ср}} = 2008$  Па;  $t_{2,\text{ср}}^{\text{ном}} = 60,5$  °С;  $t_{1,\text{ср}}^{\text{ном}} = 39,7$  °С

Измеряемый параметр	Абсолютная погрешность измерения	Погрешность определения КПД котла	
		абсолютная погрешность $\Delta\eta_{\text{отн}}$	относительная погрешность $\xi = \frac{\Delta\eta_{\text{отн}}}{\eta_{\text{отн}}}, \%$
Давление газа $P_{\text{ном}}$ , Па	1,5	0,018	1,9
Давление газа $P$ , Па	1,23		
Температура воды $t_1^{\text{ном}}$ , °С	0,15		
Температура воды $t_1$ , °С	0,14		
Температура воды $t_2^{\text{ном}}$ , °С	0,161		
Температура воды $t_2$ , °С	0,130		

Режим испытаний:  $P_{\text{ср}} = 813$  Па;  $t_{2,\text{ср}} = 51,9$  °С;  $t_{1,\text{ср}} = 39,9$  °С

Измеряемый параметр	Абсолютная погрешность измерения	Погрешность определения КПД котла	
		абсолютная погрешность $\Delta\eta_{\text{отн}}$	относительная погрешность $\xi = \frac{\Delta\eta_{\text{отн}}}{\eta_{\text{отн}}}, \%$
Давление газа $P_{\text{ном}}$ , Па	1,5	0,018	1,9
Давление газа $P$ , Па	1,26		
Температура воды $t_1^{\text{ном}}$ , °С	0,15		
Температура воды $t_1$ , °С	0,14		
Температура воды $t_2^{\text{ном}}$ , °С	0,162		
Температура воды $t_2$ , °С	0,131		

Режим испытаний:  $P_{\text{ср}} = 1055$  Па;  $t_{2,\text{ср}} = 53,65$  °С;  $t_{1,\text{ср}} = 40,03$  °С

Измеряемый параметр	Абсолютная погрешность измерения	Погрешность определения КПД котла	
		абсолютная погрешность $\Delta\eta_{\text{отн}}$	относительная погрешность $\xi = \frac{\Delta\eta_{\text{отн}}}{\eta_{\text{отн}}}, \%$
Давление газа $P_{\text{ном}}$ , Па	1,5	0,0166	1,7
Давление газа $P$ , Па	1,43		
Температура воды $t_1^{\text{ном}}$ , °С	0,15		
Температура воды $t_1$ , °С	0,126		
Температура воды $t_2^{\text{ном}}$ , °С	0,162		
Температура воды $t_2$ , °С	0,143		

Режим испытаний:  $P_{cp} = 1246$  Па;  $t_{2cp} = 55,3$  °C;  $t_{1cp} = 40,01$  °C

Измеряемый параметр	Абсолютная погрешность измерения	Погрешность определения КПД котла	
		абсолютная погрешность $\Delta\eta_{отн}$	относительная погрешность $\xi = \frac{\Delta\eta_{отн}}{\eta_{отн}}$ , %
Давление газа $P_{ном}$ , Па	1,5	0,0169	1,7
Давление газа $P$ , Па	1,26		
Температура воды $t_1^{ном}$ , °C	0,15		
Температура воды $t_1$ , °C	0,14		
Температура воды $t_2^{ном}$ , °C	0,162		
Температура воды $t_2$ , °C	0,14		

Режим испытаний:  $P_{cp} = 1605$  Па;  $t_{2cp} = 57,6$  °C;  $t_{1cp} = 39,4$  °C

Измеряемый параметр	Абсолютная погрешность измерения	Погрешность определения КПД котла	
		абсолютная погрешность $\Delta\eta_{отн}$	относительная погрешность $\xi = \frac{\Delta\eta_{отн}}{\eta_{отн}}$ , %
Давление газа $P_{ном}$ , Па	1,5	0,0186	1,8
Давление газа $P$ , Па	1,285		
Температура воды $t_1^{ном}$ , °C	0,15		
Температура воды $t_1$ , °C	0,131		
Температура воды $t_2^{ном}$ , °C	0,162		
Температура воды $t_2$ , °C	0,14		

Режим испытаний:  $P_{cp} = 2955$  Па;  $t_{2cp} = 63,7$  °C;  $t_{1cp} = 39,9$  °C

Измеряемый параметр	Абсолютная погрешность измерения	Погрешность определения КПД котла	
		абсолютная погрешность $\Delta\eta_{отн}$	относительная погрешность $\xi = \frac{\Delta\eta_{отн}}{\eta_{отн}}$ , %
Давление газа $P_{ном}$ , Па	1,5	0,0133	1,36
Давление газа $P$ , Па	1,285		
Температура воды $t_1^{ном}$ , °C	0,15		
Температура воды $t_1$ , °C	0,14		
Температура воды $t_2^{ном}$ , °C	0,162		
Температура воды $t_2$ , °C	0,14		

Традиционной схемой газоснабжения в нашей стране являются двухступенчатые системы газоснабжения с установкой на группу потребителей пунктов редуцирования. В европейских странах помимо регуляторов на наружных газовых сетях практикуют установку индивидуальных редукторов непосредственно перед газоиспользующим оборудованием. Данное мероприятие обеспечивает оптимальную работу установок с максимальным значением КПД и минимизирует содержание вредных веществ в продуктах сгорания.

Кроме этого, для повышения безопасности используют запорные клапаны типа «газ-стоп». Механизм клапана распознает увеличение расхода газа, вызванное повреждением газопровода-ввода. Находясь внутри трубопровода, клапан при колебаниях расхода в пределах нормативных значений остается в открытом состоянии и не ограничивает поток газа. Однако при превышении предварительно заданного значения расхода клапан самоактивируется и закрывается для ликвидации утечки газа, исключая возможность возгорания и взрыва. В нашей стране имеется положительный опыт использования подобных клапанов на распределительных системах газоснабжения.

Повышенное давление газа существенно увеличивает пропускную способность распределительных газопроводов низкого давления. Указанное обстоятельство способствует уменьшению диаметров распределительных сетей и вскрывает значительные резервы снижения материало- и капиталоемкости систем газоснабжения [3, 7, 8 и др.].

Стабилизация давления газа перед газоиспользующими установками позволяет эксплуатировать последние при постоянном входном давлении, соответствующем номинальному значению. Указанное обстоятельство обуславливает работу приборов при максимальном КПД и вскрывает также дополнительные резервы в плане газосбережения.

Для обоснования выбора рационального варианта газораспределительных систем были проведены соответствующие технико-экономические исследования. В качестве целевой функции использовались удельные (на одно здание) годовые дисконтированные затраты в систему газоснабжения по комплексу: газовые сети — потребитель [3]. В общем случае исходные функционалы исследуемой задачи имеют следующий вид:

вариант *a*) (двухступенчатая схема с линейными пунктами редуцирования):

$$\Delta Z_A = Z_{гс}^{сд}(q, s, n) + Z_{пргш}(V, n) + Z_{гс}^{нд}(q, s, V, \Delta P) + \Delta T \left\{ \eta_r [P_r(\Delta P), V_{год}] \right\}; \quad (4)$$

вариант *б*) (одноступенчатая система с индивидуальными пунктами редуцирования):

$$\Delta Z_B = Z_{гс}^{сд}(q, s) + Z_{пргш} + Z_{гс}^{нд}(q, s, V, \Delta P); \quad (5)$$

вариант *в*) (двухступенчатая схема с линейными пунктами редуцирования и домовыми стабилизаторами давления газа):

$$\Delta Z_B = Z_{гс}^{сд}(q, s, n) + Z_{пргш}(V, n) + Z_{гс}^{нд}(q, s, V, \Delta P) + Z_{сд}, \quad (6)$$

где  $Z_{гс}^{сд}, Z_{гс}^{нд}$  — затраты в сети среднего и низкого давления, включая внутридворовые и домовые газопроводы, руб./((год · кв.);  $Z_{пргш}$  — затраты в газоре-

гуляторные установки, руб./(\(\text{год} \cdot \text{кв.}\));  $Z_{\text{сд}}$  — затраты в домовые стабилизаторы давления газа, руб./(\(\text{год} \cdot \text{кв.}\));  $\Delta T$  — годовая стоимость дополнительно расходуемого газа, руб./(\(\text{год} \cdot \text{кв.}\));  $q$  — плотность населения, чел./\(\text{м}^2\);  $s$  — средняя заселенность квартир, чел./кв.;  $n$  — оптимальное количество квартир (домов), подключаемых к одному пункту редуцирования, кв.;  $V$  — расчетное часовое газопотребление квартирой, \(\text{м}^3\)/(\(\text{ч} \cdot \text{кв.}\)), принимается в зависимости от характера газоиспользующего оборудования и режимов его эксплуатации;  $V_{\text{год}}$  — расчетное годовое газопотребление квартирой, \(\text{м}^3\)/(\(\text{год} \cdot \text{кв.}\));  $\Delta P$  — оптимальный расчетный перепад давления в газопроводах, Па;  $\eta_r$  — КПД газоиспользующих установок, %, принимается в зависимости от давления используемого газа.

**Обсуждение результатов.** В целях численной реализации целевых функций были проведены соответствующие расчеты. В качестве объекта газоснабжения принят населенный пункт с усадебной застройкой, расположенный в умеренно холодной климатической зоне. В качестве газового оборудования квартир приняты газовые плиты и газовые отопительные печи, эксплуатируемые в режимах периодических натопов. Анализ полученных результатов сравнительной эффективности газораспределительных систем позволяет сделать вывод об экономичности двухступенчатых систем газоснабжения с установкой домовых стабилизаторов давления. Применение указанного варианта обеспечивает снижение годовых дисконтированных затрат в сооружение и эксплуатацию газораспределительных систем на 33 % в сравнении с вариантом б) и на 24 % в сравнении с вариантом а).

Отметим также, что вариант б) и в) газораспределительной системы обусловливают работу газоиспользующих установок при давлении газа, близком к номинальному (за счет постоянства давления на выходе из домового регулятора или квартирного стабилизатора давления газа). В то же время вариант а) обусловливает работу газовых аппаратов за счет потерь давления в распределительных газопроводах при пониженном давлении газа. При этом происходит снижение КПД установок на 2...3 % и адекватно увеличивается газопотребление. Как следует из анализа полученных результатов, на величину удельных затрат в системы газоснабжения определяющее влияние оказывают характер застройки, плотность газоснабжаемого населения, а также технические характеристики газоснабжаемых зданий.

#### **Выводы и заключение**

1. Вопросу оптимального функционирования поселковых систем газоснабжения посвящено большое количество научных публикаций, однако полученные авторами решения и разработанные на их основе рекомендации носят фрагментарный, часто противоречивый характер, поскольку не учитывают всю полноту и многообразие взаимодействия системообразующих факторов.

2. Техничко-экономический анализ существующих систем газоснабжения предопределяет тенденцию к снижению степени их централизации за счет использования одноступенчатых систем газоснабжения, оборудованных домовыми регуляторами давления.

3. По результатам технико-экономических расчетов было установлено, что в случае газоснабжения потребителей с использованием системы газо-

снабжения с домовыми стабилизаторами давления газа обеспечивается снижение годовых дисконтированных затрат в сооружение и эксплуатацию системы газоснабжения на 20...35 %.

4. Полученные значения коррелируются с результатами других исследователей и вместе с тем более адекватно отражают конкретные особенности функционирования распределительных систем газоснабжения с учетом многообразия системообразующих связей и факторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ионин А. А.* Газоснабжение. М. : Лань, 2012. 448 с.
2. *Курицын Б. Н., Медведева О. Н.* Влияние давления газа на эффективность его использования // Приволжский научный журнал. 2009. № 3(11). С. 65—69.
3. *Медведева О. Н., Бессонова Н. С.* Сравнительная оценка энергоэкономической эффективности поселковых систем газоснабжения // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 3(47). С. 21—30.
4. *Гофман-Захаров П. М.* О технико-экономических предпосылках построения газоразводящих систем низкого давления // Газовая промышленность. 1956. № 11. С. 22—28.
5. *Ляконис А. Ю.* Оптимизация городского газоснабжения. Л. : Недра, 1989. 302 с.
6. *Торчинский Я. М.* Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. Л. : Недра, 1988. 239 с.
7. *Sukharev M. G., Karasevich A. M.* Reliability models for gas supply systems // Automation and Remote Control. 2010. Vol. 71. Issue 7. Pp. 1415—1424.
8. *Nogueira Teresa, Vale Zita.* Optimal Location of Gas Supply Units in Natural Gas System Network // Handbook of Networks in Power Systems II. Part of the series Energy Systems, 2011. Pp. 61—75.

© *Медведева О. Н., Бессонова Н. С., 2019*

*Поступила в редакцию  
в январе 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Медведева О. Н., Бессонова Н. С.* Методика оценки тепловой эффективности газоиспользующих аппаратов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 108—120.

*Об авторах:*

**Медведева Оксана Николаевна** — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, [medvedeva-on@mail.ru](mailto:medvedeva-on@mail.ru)

**Бессонова Надежда Сергеевна** — аспирант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, [bessonova\\_n@icloud.com](mailto:bessonova_n@icloud.com)

**Oksana N. Medvedeva, Nadezda S. Bessonova**

**Yuri Gagarin State Technical University of Saratov**

#### METHODOLOGY FOR THE ESTIMATION OF THE HEAT EFFICIENCY OF GAS-USED APPARATUS

The technique and results of optimization of gas distribution systems with regard to rational forms of building gas networks, contributing to an increase in the reliability of their operation, are presented. The conditions of the computational experiment, performed on the example of gas-powered equipment, are described for evaluating the efficiency using relative efficiency coefficients

under variable operating conditions. The results of the study are summarized as a calculated dependence. The conditions for the efficient operation of gas-using installations have been substantiated, taking into account the basic requirements for ensuring their efficient, reliable and safe operation.

**Key words:** gas supply, efficiency, gas-using equipment, pressure stabilizer.

*For citation:*

Medvedeva O. N., Bessonova N. S. [Methodology for the estimation of the heat efficiency of gas-used apparatus]. *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], 2019, iss. 2, pp. 108—120.

*About authors:*

**Oksana N. Medvedeva** — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU). 77, Politehnicheskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation, [medvedeva-on@mail.ru](mailto:medvedeva-on@mail.ru)

**Nadezda S. Bessonova** — Postgraduate student of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU). 77, Politehnicheskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation, [bessonova\\_n@icloud.com](mailto:bessonova_n@icloud.com)

УДК 699.8

*Н. Н. Осипова, И. М. Бычкова*

*Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

В статье приведены результаты исследований по повышению надежности автономных систем газоснабжения индивидуальных жилых зданий. Разработана математическая модель теплообмена подземного резервуара с грунтовым массивом, рассчитаны температуры паровой фазы на выходе из резервуара. Предложена теплозащита элементов системы газоснабжения, обеспечивающая сохранение температуры паровой фазы для надежной подачи газа потребителю.

**Ключевые слова:** системы газоснабжения, подземный резервуар, теплообмен, снижение температуры, тепловая защита, оптимальная толщина тепловой изоляции.

Обеспечение потребителей газовым топливом является приоритетной задачей в Российской Федерации в соответствии со схемой развития газовой отрасли на период до 2030 г. Развитие систем газоснабжения предусматривается на базе сетевого природного газа и автономных систем газоснабжения с использованием альтернативных топлив. Наиболее распространены автономные системы газоснабжения зданий и сооружений, использующие сжиженный углеводородный газ. В то же время специфика эксплуатации указанных систем в различных климатических зонах требует обоснованных рекомендаций по обеспечению их надежной работы.

Как показывают проведенные исследования [1—4], резервуар как замкнутая система, заполненная жидкой и паровой фазами смеси пропан-бутана, при наличии теплообмена обуславливает переход из жидкого состояния в газообразное в первую очередь легко-кипящих компонентов (пропана), затем более тяжелых компонентов (бутана), при этом сжиженный газ участвует в теплообмене не только смоченной поверхностью, контактирующей с жидким углеводородным газом, но и верхней частью, заполненной испарившимся газом.

При отборе паров для газоснабжения зданий и сооружений полученный перегрев паровой фазы в пространстве между зеркалом испарения и горловиной сводится к минимуму вследствие теплообмена горловины резервуара с окружающим грунтовым массивом, ее надземной частью, укрываемой кожухом резервуарной головки, и трубопровода паровой фазы с окружающим наружным воздухом.

Снижение температуры паровой фазы смеси пропан-бутана приводит к выпадению конденсата в трубопроводах паровой фазы при достижении температуры точки росы и образованию гидратов при отрицательных температурах окружающего воздуха [5, 6]. Данное обстоятельство приводит к прекращению подачи газа потребителю и вызывает перебои в газоснабжении.

Для разработки рекомендаций по предотвращению данного явления и повышению надежности систем газоснабжения необходимо провести дополнительные исследования.

Общие потери тепла через горловину резервуара определяются по выражению:

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{п.ч}} + Q_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{п.ч}}$  — теплопотери горловиной резервуара в окружающую среду, Вт;  
 $Q_{\text{кр}}$  — теплопотери через крышку горловины резервуара, Вт.

В качестве исходных предпосылок к постановке задачи теплообмена воспользуемся допущениями:

температура окружающей среды вокруг горловины вследствие конструктивных особенностей заложения резервуаров с наличием подземной и наземной частей горловины принимается равной:

$$t_{\text{о.с}} = \frac{t_{\Gamma.м} + t_{\text{с.п}}}{2}, \quad (2)$$

где  $t_{\Gamma.м}$  — температура грунтового массива на глубине заложения горловины резервуара, °С;  $t_{\text{с.п}}$  — температура снежного покрова в соответствующей климатической зоне, °С [7];

температура в кожухе резервуарной головки, обеспечивающей защиту оборудования, устанавливаемого на крышке резервуара, принимается:

$$t_{\text{к.р}} = t_{\text{нар.в}}. \quad (3)$$

Теплопотери через горловину резервуара, сообщаемую с промерзшим грунтовым массивом и снежным покровом, в соответствии с основными положениями теплопередачи через металлическую стенку определяются:

$$Q_{\text{п.ч}} = \frac{(t_{\Gamma}^{\text{п.ф.нач}} - t_{\text{о.с}}) \cdot \pi \cdot h_{\Gamma}}{\frac{1}{d_{\Gamma}^{\text{вн}} \cdot \alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{м}}} \cdot \ln \frac{d_{\Gamma.и}^{\text{нар}}}{d_{\Gamma.и}^{\text{вн}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\Gamma.и}} \cdot \ln \frac{d_{\Gamma.и}^{\text{нар}}}{d_{\Gamma.и}^{\text{вн}}} + \frac{1}{d_{\Gamma.и}^{\text{нар}} \cdot \alpha_{\text{н}}}}, \quad (4)$$

где  $t_{\Gamma}^{\text{п.ф.нач}}$  — температура паровой фазы на входе в горловину, °С;  
 $d_{\Gamma}^{\text{вн}}$ ,  $d_{\Gamma}^{\text{нар}}$  — внутренний и наружный диаметры горловины резервуара соответственно, м;  $d_{\Gamma.и}^{\text{вн}}$ ,  $d_{\Gamma.и}^{\text{нар}}$  — внутренний и наружный диаметры гидроизоляции соответственно, м;  $\lambda_{\text{м}}$  — теплопроводность металлической стенки горловины, Вт/(м·К);  $\lambda_{\Gamma.и}$  — теплопроводность гидроизоляции резервуара, Вт/(м·К);  $\alpha_{\text{в}}$  — коэффициент теплоотдачи металлической стенки горловины, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{\text{н}}$  — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности гидроизоляции горловины грунтовому массиву, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Теплопотери через крышку горловины резервуара:

$$Q_{\text{н.г}} = (t_{\Gamma}^{\text{п.ф.нач}} - t_{\text{нар.в}}) \left[ \frac{\pi r_{\text{кр}}^2}{R_{\text{кр}}} \right], \quad (5)$$

$$\text{где } R_{\text{кр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{кр}}}{\lambda_{\text{м}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{нар.в}}$  — температура наружного воздуха, °С;  $r_{\text{кр}}$  — радиус крышки горловины резервуара, м;  $R_{\text{кр}}$  — сопротивление теплопередаче крышки горловины, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;  $\alpha_{\text{н}}^{\text{н.ч}}$  — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности крышки резервуара наружному воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Выражения (1—6) формируют постановку задачи теплового взаимодействия горловины резервуара с грунтовым массивом и наружным воздухом.

Для определения потерь тепла паровой фазой при ее перемещении в горловине резервуара проведены соответствующие расчеты. В качестве исходных данных приняты:

диаметр горловины резервуара  $d_{\text{г}}^{\text{нар}}$  — 500 мм с толщиной стенки 8 мм по ГОСТ 6533—78;

толщина гидроизоляции резервуара 8 мм;

теплопроводность металлической стенки горловины — 45 Вт/(м·К) [8, 9];

коэффициент теплоотдачи от паровой фазы внутренней стенке горловины, Вт/(м<sup>2</sup>·К), принимается по результатам исследований [10, 11];

коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности гидроизоляции горловины грунтовому массиву, Вт/(м<sup>2</sup>·К) по СП 61.13330.2012;

температура грунта, °С, принята по данным [7];

начальная температура паровой фазы  $t_{\text{г}}^{\text{п.ф.нач}}$  на входе в горловину принимается по результатам расчета на программе, разработанной авторами [12].

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Потери тепла через горловину подземного резервуара*

Климатическая зона эксплуатации резервуарных установок	Теплопотери через горловину и крышку горловины резервуара $Q_{\text{г}}$ , Вт	Снижение температуры паровой фазы в горловине за счет теплообмена $\Delta t$ , °С
Очень холодная	215	16,24
Холодная	115,19	11,9
Умеренно холодная	65,94	6,9
Умеренно теплая	36,49	5,39

Как показывают результаты исследований, теплообмен горловины резервуара с окружающей средой приводит к понижению температуры паровой фазы и потере эффекта дополнительного нагрева над зеркалом испарения. Для сохранения эффекта дополнительного нагрева паровой фазы пропан-бутана необходимо предусматривать тепловую изоляцию горловины и крышки резервуара. В то же время вследствие конструктивных особенностей системы газоснабжения с окружающей средой, имеющей отрицательную температуру в холодный период года, взаимодействует трубопровод паровой фазы, расположенный на крышке резервуара [13—15]. Для разработки обобщенных рекомендаций по теплозащите элементов системы газоснабжения необходимо провести исследования по теплообменным процессам трубопровода паровой фазы.

В качестве целевой функции задачи примем капитальные вложения в сооружение теплоизолированных элементов системы СУГ по комплексу: горловина резервуара с крышкой — трубопровод паровой фазы. Поскольку капитальные вложения в сооружение горловины, крышки горловины резервуара и трубопровода паровой фазы, изолированных и неизолированных элементов одинаковы, рассмотрим только переменную часть капитальных вложений, связанную с изменением толщины тепловой изоляции:

$$K = K_{\Gamma} + K_{\text{т.п.ф}} = \min, \quad (7)$$

где  $K_{\Gamma}$  — капитальные вложения в тепловую изоляцию горловины резервуара и крышки, руб.;  $K_{\text{т.п.ф}}$  — капитальные вложения в трубопровод паровой фазы, руб.

В соответствии с выражением (7) капитальные вложения в тепловую изоляцию соответствующих участков системы автономного газоснабжения могут быть представлены в виде:

капиталовложений в теплоизоляцию горловины резервуара, руб.:

$$K_{\Gamma} = K_{\text{т.и.г}} + K_{\text{т.и.кр}} + K_{\text{з.т.и.г}}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{т.и.г}}$  — капитальные вложения в теплоизоляцию цилиндрической части горловины, руб.;  $K_{\text{т.и.кр}}$  — капитальные вложения в теплоизоляцию крышки горловины резервуара, руб.;  $K_{\text{з.т.и.г}}$  — капитальные вложения в защитное покрытие теплоизоляции цилиндрической части горловины резервуара, руб.

В свою очередь,

$$K_{\text{т.и.г}} = \frac{1}{4} \pi c_{\text{т.и}} \left( (d_{\text{т.и.г}}^{\text{нар}})^2 - (d_{\text{т.и.г}}^{\text{вн}})^2 \right) h_{\Gamma}; \quad (9)$$

$$K_{\text{т.и.кр}} = \frac{1}{2} \pi c_{\text{т.и}} (r_{\text{кр}}^2 \delta_{\text{т.и.кр}}); \quad (10)$$

$$K_{\text{з.т.и.г}} = c_{\text{з.т.и}} F_{\Gamma} = c_{\text{з.т.и}} \pi d_{\text{т.и.г}}^{\text{нар}} h_{\Gamma}, \quad (11)$$

где  $c_{\text{т.и}}$  — удельная стоимость тепловой изоляции, руб./м<sup>3</sup>;  $\delta_{\text{т.и.кр}}$  — толщина тепловой изоляции на крышке горловины резервуара, м;  $h_{\Gamma}$  — высота горловины резервуара, м;  $d_{\text{т.и.г}}^{\text{нар}}$ ,  $d_{\text{т.и.г}}^{\text{вн}}$  — наружные диаметры гидроизоляции и тепловой изоляции участков рассматриваемой системы автономного газоснабжения, м;  $c_{\text{з.т.и}}$  — удельная стоимость защитного покрытия тепловой изоляции, руб./м<sup>2</sup>;

капиталовложений в тепловую изоляцию трубопровода паровой фазы, руб.:

$$K_{\text{т.п.ф}} = K_{\text{т.и}} + K_{\text{з.т.и}}, \quad (12)$$

где  $K_{\text{т.и}}$  — капитальные вложения в теплоизоляцию трубопровода паровой фазы, руб.;  $K_{\text{з.т.и}}$  — капитальные вложения в защитное покрытие теплоизоляции трубопровода паровой фазы, руб.

В свою очередь, элементы, входящие в выражение (12), могут быть представлены в виде выражений:

$$K_{т.и} = \frac{1}{4} \pi c_{т.и} \left( (d_{т.и}^{нар})^2 - (d_{т.п.ф}^{нар})^2 \right) l_{т.п.ф}; \quad (13)$$

$$K_{з.т.и} = c_{з.т.и} \pi d_{т.и}^{нар} l_{т.п.ф}, \quad (14)$$

где  $l_{т.п.ф}$  — длина трубопровода паровой фазы, м;  $d_{т.и}^{нар}$ ,  $d_{т.п.ф}^{нар}$  — наружные диаметры теплоизоляционного покрытия и трубопровода паровой фазы, м.

Условием, ограничивающим увеличение толщины тепловой изоляции, служат тепловые потери в элементах автономной системы газоснабжения, которые принимаются равными суммарному перегреву паров смеси пропан-бутана в газгольдере СУГ:

$$\varphi = \Delta Q = \sum_{i=1}^3 Q_{п.т} - Q_{пер} = 0, \quad (15)$$

где  $Q_{пер}$  — суммарный перегрев паров пропан-бутана в резервуаре, Вт [2].

Анализ выражения (15) показывает, что выполнение условия возможно при равенстве теплотерь участков системы и полученного перегрева. Данное равенство будет выполняться при наличии тепловой изоляции участков рассматриваемой схемы, т. е.  $\delta_{т.и.г}$ ,  $\delta_{т.и.кр}$ ,  $\delta_{т.и}$ . Для нахождения оптимального значения целевой функции (7) при заданном ограничении (15) исследуем функцию на экстремум с применением метода множителей Лагранжа для функций  $n$  переменных.

Представим капиталовложения в тепловую изоляцию участков рассматриваемой системы как:

$$K = f(\delta_{т.и.1}, \delta_{т.и.2}, \delta_{т.и.3}). \quad (16)$$

С учетом выражения (15) составим функцию Лагранжа и запишем ее следующим образом:

$$F(\delta_{т.и.г}, \delta_{т.и.кр}, \delta_{т.и}) = f(\delta_{т.и.г}, \delta_{т.и.кр}, \delta_{т.и}) + \mu \varphi(\delta_{т.и.г}, \delta_{т.и.кр}, \delta_{т.и}), \quad (17)$$

где  $\mu$  — множитель Лагранжа.

Необходимые условия минимума функции капиталовложений в изоляцию трубопровода паровой фазы формируются в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} F'(\delta_{т.и.г}) = 0, \\ F'(\delta_{т.и.кр}) = 0, \\ F'(\delta_{т.и}) = 0, \\ \varphi(\delta_{т.и.г}, \delta_{т.и.кр}, \delta_{т.и}) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

с неизвестными  $\delta_{т.и.г}$ ,  $\delta_{т.и.кр}$ ,  $\delta_{т.и}$ .

При решении задачи примем ряд ограничений:  
для удобства проведения изоляционных работ на горловине и крышке резервуара  $\delta_{т.и.г} = \delta_{т.и.кр}$ ;

толщина тепловой изоляции на крышке резервуара связана с расположением оборудования на ней, находятся в пределах:

$$\delta_{т.и.кр}^{\min} \leq \delta_{т.и.кр}^{\text{opt}} \leq \delta_{т.и.кр}^{\max}, \quad (19)$$

где  $\delta_{т.и}^{\min}$  — минимальная толщина тепловой изоляции, м. Принимается равной минимальному значению нулю при отсутствии тепловой изоляции, т. е.  $\delta_{т.и}^{\min} = 0$ ;  $\delta_{т.и}^{\max}$  — максимальное значение толщины изоляции, принимаемое из условия компоновки, как расстояние от данного участка трубопроводной обвязки до ближайшей соседней единицы оборудования, ограничивающей дальнейшее увеличение изоляции в вертикальном направлении, равное 0,1 м.

Значения  $\delta_{т.и.г}$ ,  $\delta_{т.и.кр}$ ,  $\delta_{т.и}$ , определяющие минимум целевой функции (7) при заданных ограничениях (15 и 19) и являющиеся оптимальными, т. е.  $\delta_{т.и.г}^{\text{opt}}$ ,  $\delta_{т.и.кр}^{\text{opt}}$ ,  $\delta_{т.и}^{\text{opt}}$ .

Целевая функция (7—18) и ограничения (15—19) формируют экономико-математическую модель задачи. Для нахождения минимума целевой функции воспользуемся методом вариантных расчетов. Задаваясь рядом значений  $\delta_{т.и}$  по уравнениям (9—11) и (13—14), определяем наружный диаметр теплоизолированных участков системы газоснабжения, значения изменения температур паровой фазы в искомым точках системы. В соответствии с табл. 1 определяются суммарные потери тепла  $\sum_{i=1}^3 Q_{п.т}$ . В соответствии с методическими положениями [10] определяется перегрев паровой фазы над зеркалом испарения в резервуаре СУГ. Оптимальную толщину тепловой изоляции исследуемых участков системы, а следовательно, и минимальные капитальные вложения К определит выполнение условия задачи:

$$\Delta Q = \sum_{i=3}^3 Q_{п.т} - Q_{пер} = 0. \quad (20)$$

В целях реализации экономико-математической модели (7—20) по определению оптимальной тепловой защиты элементов системы автономного газоснабжения были проведены соответствующие расчеты.

В расчетах использовались следующие исходные данные:

1. Объем резервуара  $V_p = 4,7 \text{ м}^3$ .
2. Уровень заполнения резервуара сжиженным газом  $\phi = 50 \%$ .
3. Расход газа при газовом оборудовании: плита газовая четырех конфорочная и двухконтурный котел — 2,58 кг/ч.
4. Температура наружного воздуха в зависимости от климатической зоны эксплуатации принималась по данным СП 131.13330.2012.
5. Теплопроводность тепловой изоляции AEROFLEX  $\lambda_{\delta, \xi} = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .
6. Геометрические размеры элементов системы автономного газоснабжения приняты в соответствии со схемой, представленной в работе [16].

Результаты расчетов приводятся на графиках (рис. 1 и 2).

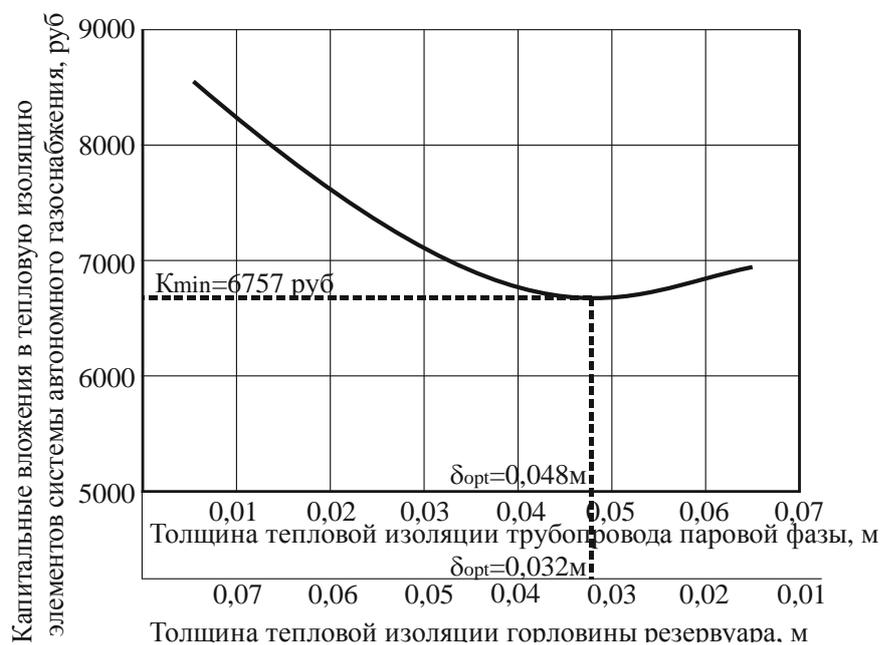


Рис. 1. Капитальные вложения в сооружение тепловой защиты горловины резервуара и трубопровода паровой фазы (холодная климатическая зона, г. Иркутск)

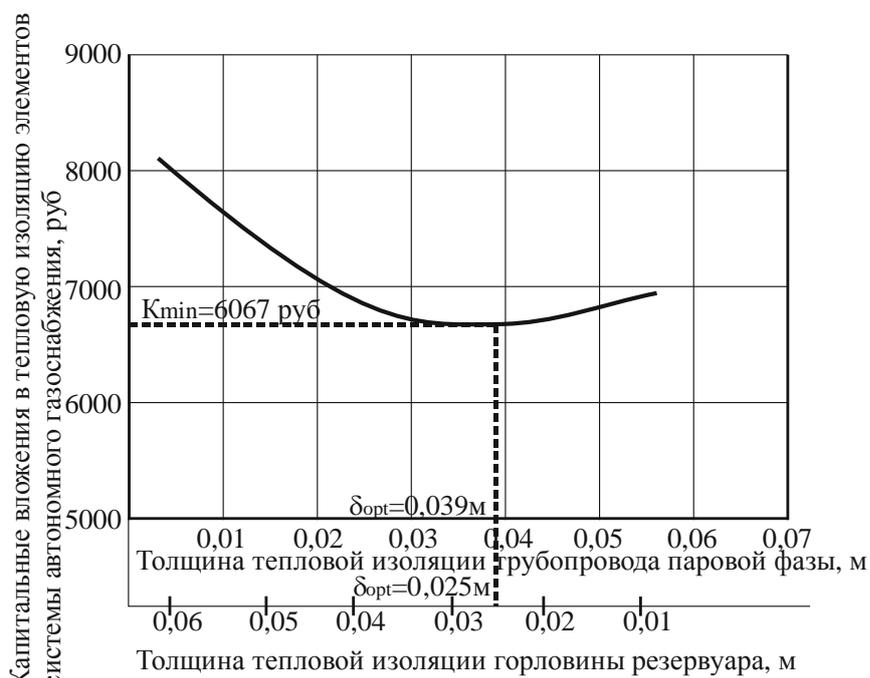


Рис. 2. Капитальные вложения в сооружение тепловой защиты горловины резервуара и трубопровода паровой фазы (умеренно-теплая климатическая зона, г. Краснодар)

Как видно из графиков (рис. 1 и 2), величина минимальных капитальных вложений  $K_{\min}$ , а также соответствующие ей оптимальная толщина тепловой изоляции на горловине  $\delta_{\text{т.и.г}}^{\text{opt}}$ , крышка резервуара  $\delta_{\text{т.и.кр}}^{\text{opt}}$  и трубопровод паровой фазы составляют  $\delta_{\text{т.и}}^{\text{opt}}$ :

для холодной климатической зоны (г. Иркутск):

$$K_{\min} = 6757 \text{ руб.}; \delta_{\text{т.и.г}}^{\text{opt}} = \delta_{\text{т.и.кр}}^{\text{opt}} = 0,032 \text{ м}; \delta_{\text{т.и}}^{\text{opt}} = 0,048 \text{ м};$$

для умеренно-теплой климатической зоны (г. Краснодар):

$$K_{\min} = 6067 \text{ руб.}; \delta_{\text{т.и.г}}^{\text{opt}} = \delta_{\text{т.и.кр}}^{\text{opt}} = 0,025 \text{ м}; \delta_{\text{т.и}}^{\text{opt}} = 0,039 \text{ м}.$$

В качестве обобщенных значений оптимальных толщин тепловой изоляции для всех климатических зон эксплуатации можно принять:  $\delta_{\text{т.и.г}}^{\text{opt}} = \delta_{\text{т.и.кр}}^{\text{opt}} = 0,032 \text{ м}; \delta_{\text{т.и}}^{\text{opt}} = 0,048 \text{ м}$ . Указанные значения соответствуют минимуму капитальных вложений в условиях холодной климатической зоны и обуславливают завышение капитальных вложений не более чем на 8,1 % в условиях умеренно-теплой климатической зоны.

Для обоснования необходимости элементного подхода к тепловой защите участков системы были проведены расчеты по определению толщины тепловой изоляции без разбиения на характерные участки, при выполнении условия (15). Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Значение толщин тепловой изоляции элементов системы автономного газоснабжения*

Наименование изолируемого участка	Толщина тепловой изоляции $\delta_{\text{т.и}}^{\text{opt}}$ , м, для климатических зон	
	Умеренно-холодная	Холодная
горловина резервуара	0,025	0,032
крышка горловины резервуара	0,025	0,032
трубопровод паровой фазы до грунтового теплообменника	0,039	0,048
элементы системы газоснабжения без разбиения на участки	0,034	0,04

Определение капитальных вложений в теплоизоляцию элементов без разбиения на участки показало, что в умеренно-теплой зоне капитальные вложения при толщине тепловой изоляции 0,034 м составят 7015 руб., а в холодной зоне при толщине 0,04 м — 8094 руб., что соответственно на 13,5 % и 16,5 % больше соответствующих величин капитальных вложений  $K_{\min}$  (рис. 1 и 2). Таким образом, нанесение тепловой изоляции на элементы системы газоснабжения необходимо производить с учетом минимизации тепловых потерь и разбиения на характерные участки.

**Выводы.** В результате проведенных исследований получены оптимальные толщины тепловой изоляции элементов системы газоснабжения, позволяющие обеспечить стабилизацию температуры паровой фазы, используемой для газоснабжения зданий и сооружений, что обеспечивает повышение надежности эксплуатируемых систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. An investigation of the in-reservoir conversion of oil to gas: compositional and kinetic findings from closed-system programmed-temperature pyrolysis / B. Horsfield and other // *Organic Geochemistry*. Vol. 19, Iss. 1—3, 1992. Pp. 191—204.
2. *Осипова Н. Н., Поберий А. А.* Исследование режимов течения смеси паров пропан-бутана над зеркалом испарения в резервуаре при естественной регазификации // *Инновационные технологии в строительстве, теплогасоснабжении и энергообеспечении* : материалы V Международной науч.-практ. конф 2017. С. 165—168.
3. *Осипова Н. Н., Поберий А. А.* Влияние гидродинамической и тепловой стабилизации на режимы течения паровой фазы газа в резервуаре // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. 2017. № 8. С. 209—213.
4. *Осипова Н. Н., Бычкова И. М., Поберий А. А.* Влияние нестабильности температуры газообразной смеси пропан-бутана на устойчивую работу автономных систем газоснабжения с естественной регазификацией // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2017. № 49(68). С. 69—78.
5. Condensate Reservoir Behaviour: Productivity and Recovery Reduction Due to Condensation / R. S. Barnum Gas and other // *Society of Petroleum Engineers*. Dallas, Texas. 1995. 11 p.
6. Numerical study on the condensation flow and heat transfer characteristics of hydrocarbon mixtures inside the tubes of liquefied natural gas coil-wound heat exchangers / Guodong Qiu and other // *Applied Thermal Engineering*, Vol. 140. 2018. Pp. 775—786.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1—6. Вып. 28. Л. : Гидрометеоздат, 1990. 355с.
8. *Tarek A.* Reservoir engineering. Handbook. Third Edition. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier / 30 Corporate Drive, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK, 2006. 1377 p.
9. Possible thermal processes involved in the storage of liquefied petroleum gas Assoc. Prof. PhD. Eng. Tudora Cristescu, Prof. PhD. Eng. Lazar Avram, Assist. PhD. Eng. Monica Emanuela Stoica an oil-gas university of ploiesti / *Termo tehnica* 22013 Pp. 63—66.
10. *Бычкова И. М., Поберий А. А.* К определению коэффициента теплопередачи при теплообмене горловины подземного резервуара с окружающим грунтовым массивом // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. 2018. № 9. С. 282—288.
11. Heat transfer in the structure of a spiral-wound heat exchanger for liquefied natural gas production: review of numerical models for the heat-transfer coefficient of condensation for a hydrocarbon mixture in a horizontal tube / Ya. Samokhvalov and other // *Journal of Enhanced Heat Transfer*, Vol. 25. Iss. 2. 2018. Pp. 109—120.
12. Определение изотермических изменений состояния паровой смеси пропан-бутана в автономных системах газоснабжения с естественной регазификацией сжиженного углеводородного газа / Н. Н. Осипова и др. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2018612737. 26.02.2018 г.
13. *Исаченко В. П., Осипов В. А., Сукомел А. С.* Теплопередача. М. : Энергоиздат, 1981. 416 с.
14. *Spinnler M., Winter E., Viscanta R.* Studies on high-temperature multilayer thermal insulations // *Heat and Mass Transfer*. 2004. Vol. 47. Pp. 1305—1312.
15. *Кутателадзе С. С.* Основы теории теплообмена. Изд. 5 перераб. и доп. М. : Атомиздат, 1979. 416 с.
16. *Osipova N. N., Kuznetsov S. S., Bychkova I. M.* Autonomous Gas Fuel Supply Systems with Natural Re-Gasification of Liquefied Hydrocarbon Gas: Principles of Providing Gas Fuel to Customers / 21st International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction — The Formation of Living Environment, FORM 2018 ; Moscow : MGSU. Vol. 365. Iss. 4. 2018. 6 p.

© *Осипова Н. Н., Бычкова И. М., 2019*

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Осипова Н. Н., Бычкова И. М.* Повышение надежности автономных систем газоснабжения индивидуальных жилых зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 2(75). С. 121—130.

*Об авторах:*

**Осипова Наталия Николаевна** — д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой теплогасоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, [osnat75@mail.ru](mailto:osnat75@mail.ru)

**Бычкова Ирина Михайловна** — аспирант, ассистент кафедры теплогасоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, [bychkovaim@mail.ru](mailto:bychkovaim@mail.ru)

**Nataliya N. Osipova, Irina M. Bychkova**

**Yuri Gagarin State Technical University of Saratov**

**INCREASE RELIABILITY OF AUTONOMOUS SYSTEMS  
GAS SUPPLY OF INDIVIDUAL RESIDENTIAL BUILDINGS**

The article presents the results of studies to improve the reliability of autonomous gas supply systems for individual residential buildings. A mathematical model has been developed for the heat exchange of an underground reservoir with a ground mass, the vapor phase temperatures at the outlet of the reservoir have been calculated. The proposed thermal protection of the elements of the gas supply system ensures the preservation of the temperature of the vapor phase for reliable gas supply to the consumer.

**Key words:** gas supply systems, underground tank, heat exchange, temperature reduction, thermal protection, optimal thermal insulation thickness.

*For citation:*

Osipova N. N., Bychkova I. M. [Increase reliability of autonomous systems gas supply of individual residential 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], 2019, iss. 2, pp. 121—130.

*About authors:*

**Nataliya N. Osipova** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, the Head of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politehnicheskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation, [osnat75@mail.ru](mailto:osnat75@mail.ru)

**Irina M. Bychkova** — Postgraduate student, Assistance Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politehnicheskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation, [bychkovaim@mail.ru](mailto:bychkovaim@mail.ru)

УДК 628.54

**А. А. Геращенко, А. А. Сахарова, Е. Л. Ханова, В. А. Коробков, А. С. Волкова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **РАЗРАБОТКА ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Основываясь на современном комплексном подходе с экономичным процессом переработки химически загрязненных промышленных отходов и организации замкнутой системы водоснабжения, предлагаем использовать один из перспективных методов очистки сточных вод — испарение. В процессе упаривания получается высокого качества дистиллят, возвращающийся в технологию прядильно-ткацкого, красильно-печатного производств и высококонцентрированных растворов или шламов, которые направляют на дальнейшую переработку, утилизацию или хранение, что обеспечивает создание безотходного производства.

**Ключевые слова:** замкнутые системы водоснабжения, выпаривание, безотходное производство, хвостовые установки.

Основным направлением в текстильной промышленности по сокращению потребления свежей воды и уменьшению отходов производства является создание технологических систем в масштабах отдельных производств (и предприятий в целом) с многократным использованием воды, в идеале — без сброса неочищенных стоков на общезаводские очистные сооружения в городскую канализацию или на рельеф (в открытые водоемы). Свежая вода в подобные системы должна добавляться лишь для возмещения естественных потерь [1].

В основу создания указанных технологических систем заложены принципы значительного сокращения потребления свежей воды и (если возможно) полного исключения воды из технологических операций, локальной очистки сточных вод отдельных участков производств (с утилизацией ценных компонентов) и подготовки воды для повторного использования.

Ключевым моментом оптимизации водоотведения является проблема разделения сетей внутрицеховой производственной канализации, поскольку сброс стоков от разных операций в одну сеть внутриплощадочной канализации приводит к перемешиванию стоков и образованию многокомпонентной смеси, которую невозможно эффективно очистить ни одним из методов.

Создание нескольких внутрицеховых раздельных сетей промканализации со сбросом в каждую из них сточных вод от конкретной технологической операции является оптимальным решением при выборе высокоэффективных методов очистки и состава локальных сооружений [1].

Если необходимо повторно использовать очищенные стоки для той же технологической операции, то раздельных сетей канализации даже для одного технологического процесса может быть две или три, например для раздельного отвода стоков после горячей и холодной промывок. В этом случае каждый сток, подаваемый по раздельной сети, должен и на локальных сооружениях обрабатываться в самостоятельных аппаратах.

Поскольку в процессе работы замкнутых систем водоснабжения наблюдается рост солесодержания в воде, существенное значение приобретает

кратность использования такой воды в технологии, и в ряде случаев последовательное использование воды становится выгоднее оборотного. При оптимизации водопотребления и водоотведения на текстильных предприятиях часто оказывается выгодным использовать бессточные, а не малосточные системы, за счет использования солесодержания в технологическом процессе отделки ткани.

По мнению Л. А. Алферовой [2], замкнутые системы водоснабжения следует рассматривать как системы, исключаящие сброс сточных вод в водоем, в которых коэффициент использования свежей воды равен единице, и как оборотные системы с указанием коэффициентов использования воды в обороте и свежей воды.

Проектировать системы использования воды целесообразно одновременно с проектированием основной технологии с учетом научно обоснованных требований к качеству используемой воды и правил ее использования, определяющих, где, как, сколько и какого качества следует использовать воду. При этом регенерация отработанных технологических растворов и воды из сточных вод рассматривается не как вспомогательная, а как основная завершающая операция производства товарного продукта.

Поскольку жесткие требования к качеству используемой воды предъявляет весьма ограниченное число потребителей, наиболее рациональна организация автономно-смешанных оборотных систем водоснабжения. Уже первые опыты по разработке, проектированию, наладке и эксплуатации замкнутых систем показали, что они требуют принципиально иного подхода. Необходимо одновременно решать две проблемы: изменить основную технологию в целях оптимального использования сырьевых ресурсов и внедрения маловодных и безводных процессов; создать совершенную замкнутую систему очистки и повторно-последовательного использования воды в производстве. Наиболее сложной и важной задачей является решение первой проблемы, так как она охватывает практически все отрасли водного хозяйства. Строительство замкнутой системы водного хозяйства предусматривает внедрение эффективных, прежде всего физико-химических и биотехнологических методов очистки сточных вод, установление научно обоснованных предельно допустимых концентраций солей, красителей и других компонентов в оборотной воде с учетом ее эпидемиологической и токсикологической безопасности для каждого замкнутого цикла, создание максимально возможного количества локальных замкнутых циклов с многократным использованием воды в них, извлечение из сточных вод ценных компонентов, переработку в целях утилизации выделенных осадков и засоленных вод. Естественно, что в замкнутых системах доля оборотного водоснабжения должна быть доведена до предельной величины.

Отличительной особенностью замкнутых бессточных и безотходных систем водного хозяйства является необходимость иметь в их составе так называемые «хвостовые установки», наличие которых позволяет сделать систему замкнутой. К ним относятся: установки переработки и утилизации концентрированных отработанных технологических растворов, обезвоживания и сушки осадков, стабилизационные, биоинженерные, деминерализационные, сжигания, доочистки сбросных продувных вод. Наличие таких установок усложняет и удорожает систему, которая, по существу, представляет собой хи-

мико-технологический комплекс (цех) внутри предприятия по производству чистой воды. Кроме повышенных капитальных и эксплуатационных затрат необходимо высокопроизводительное оборудование (механического обезвоживания, сушки, обессоливания и др.), ЭВМ, приборы КИПиА, высококвалифицированный обслуживающий персонал. В этом случае цех водоснабжения из второстепенного становится основным.

Определяющим моментом в создании и эксплуатации замкнутых систем является выбор и устройство «хвостовых установок». Установки переработки концентрированных технологических растворов и стабилизации детально разработаны и широко применяются. Так, установки переработки отработанных концентрированных растворов (красильные и др.) обычно входят в состав основного технологического цеха, а стабилизационные — в состав чистых и грязных оборотных циклов. Широко используются установки обработки осадков, выделяемых при очистке сточных вод. В их состав входят узлы сгущения, кондиционирования, механического обезвоживания и сушки осадков. Такие установки обычно находятся в блоках очистных сооружений по переработке химически загрязненных стоков, но иногда выделяются в виде отдельного цеха обезвоживания, например на биохимических очистных сооружениях.

В последние годы широкое распространение получили термоокислительные методы обезвреживания осадков (отходов), содержащих органические вещества. К ним относятся парофазное окисление (огневой метод), плазмохимическая обработка, жидкофазное и парофазное каталитическое окисление; в отечественной практике используется преимущественно первый метод. Необходимость применения таких установок сжигания для защиты окружающей среды в настоящее время не вызывает сомнений.

Из-за неизбежного выброса в окружающую среду вторичных загрязнений и уничтожения полезных продуктов имеются доводы против расширения процесса использования установок сжигания. Тем не менее в ближайшие годы такие установки придется внедрять повсеместно вследствие увеличения количества отходов и недостатка мощностей по их регенерации. Имеется более сотни разнообразных установок сжигания, работающих на различных предприятиях. Выбор типа установки определяется составом и количеством уничтожаемых осадков, методами очистки газовых выбросов и др. Для уменьшения ошибки в выборе типа установки для каждого предприятия следует проводить поисковые исследования на натуральных (или их моделирующих) осадках и отходах.

В настоящее время ощущается острый дефицит в установках сжигания малой производительности. В определенной степени эту проблему можно решить, коллективно используя имеющиеся или сооружаемые установки большой производительности. Отметим, что в последнее время стал вновь появляться интерес к установкам прокалики, работающим с температурой 1700 °С и выше.

При создании замкнутой системы водоснабжения наибольшие трудности вызывают процессы деминерализации сточных вод. Поступающие в окружающую среду сточные воды условно разделяют на «управляемые», связанные с отдельными технологическими процессами, и «неуправляемые», являющиеся безвозвратными потерями воды из оборотных систем (ветровой унос, инфильтрация и др.).

Известно несколько промышленных методов деминерализации сточных вод: термический, ионообменный, обратноосмотический, электродиализный, кристаллогидратный, химический, коагуляционный. В отечественной практике применяется в основном термический метод, позволяющий в принципе получить из стока полностью утилизируемые продукты — конденсат и сухие соли. Удельный расход тепла в зависимости от конструкции обессоливающего аппарата изменяется от 420 до 3770 кДж/кг обрабатываемой воды.

При разработке выпарных установок приходится решать вопросы, связанные с образованием отложений на теплообменных поверхностях, вспениванием выпариваемых стоков и подбором антикоррозионных материалов. Первые действующие выпарные установки не имели узлов разделения получаемого рассола на индивидуальные утилизируемые продукты. В настоящее время разработаны технологические схемы переработки рассолов с получением товарных солей.

Выпаривание под атмосферным давлением, а иногда и выпаривание под вакуумом проводят в одиночных выпарных аппаратах (однокорпусных выпарных установках). Однако наиболее распространены многокорпусные выпарные установки, состоящие из нескольких выпарных аппаратов или корпусов, в которых вторичный пар каждого предыдущего корпуса направляется в качестве греющего в последующий корпус. При этом давление в последовательно соединенных (по ходу выпариваемого раствора) корпусах снижается таким образом, чтобы обеспечить разность температур между вторичным паром из предыдущего корпуса и раствором, кипящим в данном корпусе, т. е. создать необходимую движущую силу процесса выпаривания. В этих установках первичным паром обогревается только первый корпус. Следовательно, в многокорпусных выпарных установках достигается значительная экономия первичного пара по сравнению с однокорпусными установками той же производительности [3].

Схема многокорпусной вакуум-выпарной установки, работающей при прямоточном движении греющего пара и раствора, показана на рис. 2 и 3. Установка состоит из нескольких (в данном случае трех) корпусов. Исходный раствор, обычно предварительно нагретый до температуры кипения, поступает в первый корпус, обогреваемый свежим (первичным) паром. Вторичный пар из этого корпуса направляется в качестве греющего во второй корпус, где вследствие пониженного давления раствор кипит при более низкой температуре, чем в первом. Ввиду более низкого давления во втором корпусе раствор, упаренный в первом корпусе, перемещается самотеком во второй корпус и здесь охлаждается до температуры кипения в этом корпусе. За счет выделяющегося при этом тепла образуется дополнительно некоторое количество вторичного пара. Такое явление, происходящее во всех корпусах установки, кроме первого, носит название самоиспарения раствора. Аналогично упаренный раствор из второго корпуса перетекает самотеком в третий корпус, который обогревается вторичным паром из второго корпуса.

Предварительный нагрев исходного раствора до температуры кипения в первом корпусе производится в отдельном подогревателе 2, что позволяет избежать увеличения поверхности нагрева в первом корпусе. Вторичный пар из последнего корпуса (в данном случае из третьего) отводится в барометрический конденсатор 6, в котором при конденсации пара создается требуемое

разрежение. Воздух и неконденсирующиеся газы, попадающие в установку с паром и охлаждающей водой (в конденсаторе), а также через неплотности трубопроводов и резко ухудшающие теплопередачу, отсасываются через ловушку-брызгоулавливатель 8 вакуум-насосом 9. С помощью вакуум-насоса поддерживается также устойчивый вакуум, так как остаточное давление в конденсаторе может изменяться с колебанием температуры воды, поступающей в конденсатор. Полученный дистиллят после выпарных установок возвращается в производство, а концентрат, содержащий краситель, подается в электролизер на электрохимическую обработку.

В данной работе изучались сточные воды, содержащие кубовые красители. Выявлено, что кубовые краски в воде переходят в нерастворенную форму в кислой среде при минимальном содержании таких солей, как хлорид натрия и глауберовой соли. Из различных методов очистки сточных вод от кубовых красителей выбран метод электрохимического окисления. Известно, что электрохимическая реакция протекает более интенсивно в концентрированном растворе, чем и объясняется необходимость введения в основные структуры технологического процесса, выпарной установки и электролизера. Выпаренный дистиллят направляется в производство [4].

Выделяемые концентраты прядильно-ткацкого производства, содержащие отходы хлопка, целесообразно использовать для получения различных материалов. Например, решением данной проблемы является его применение в качестве компонента гидроизоляционного кровельного материала.

На рисунках 1 и 2 показаны хвостовые установки прядильно-ткацкого и красильно-печатного производства.

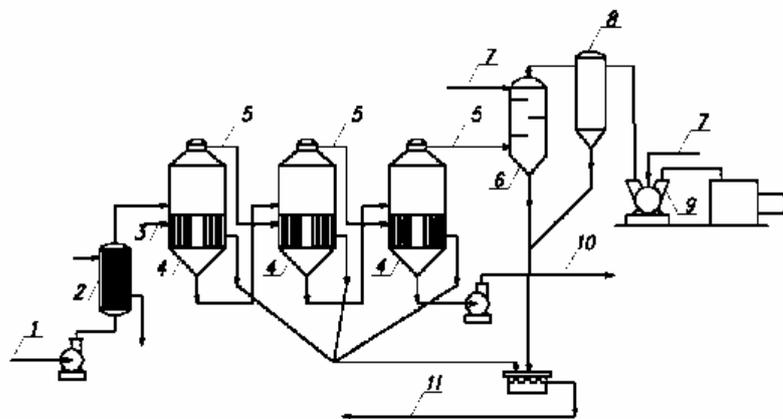


Рис. 1. Принципиальная схема очистки сточных вод прядильно-ткацкого цеха: 1 — сточная вода прядильно-ткацкого цеха; 2 — подогреватель исходного раствора; 3 — первичный пар; 4 — корпус выпарной установки; 5 — вторичный пар; 6 — барометрический конденсатор; 7 — вода; 8 — ловушка; 9 — вакуум-насос; 10 — концентрат волокна хлопка; 11 — вода в производство

Возвращаясь к вышесказанному, следует отметить, что организация замкнутой системы требует одновременной проработки всех элементов водного хозяйства в их взаимосвязи, а не только отдельных частей (чистых и грязных оборотных циклов, локальных сооружений по очистке стоков и др.).

Действительно, в системе производятся очистка и использование всех производственных вод текстильного предприятия, на хвостовых установках перерабатываются все отходы от локальных циклов и др. Все это должно быть увязано в едином хозяйстве. Для создания замкнутой системы необходимы совместные усилия специалистов различных направлений: водников, технологов, экономистов, гигиенистов и др.

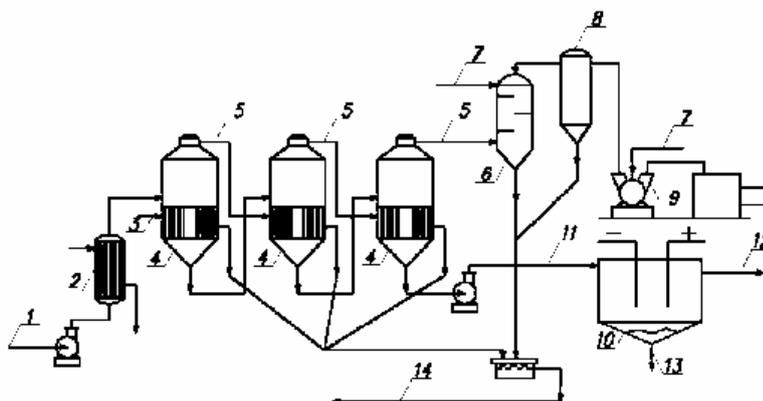


Рис. 2. Принципиальная схема очистки сточных вод красильно-печатного цеха: 1 — сточная вода красильно-печатного цеха; 2 — подогреватель исходного раствора; 3 — первичный пар; 4 — корпус выпарной установки; 5 — вторичный пар; 6 — барометрический конденсатор; 7 — вода; 8 — ловушка; 9 — вакуум-насос; 10 — электролизер; 11 — концентрат кубового красителя; 12 — вода на повторное использование; 13 — краситель на повторное использование; 14 — вода в производство

Однако речь не идет о создании крупных комплексов по обработке и повторному использованию всех сточных вод предприятия, для этого нет необходимых средств. Востребованы предлагаемые в работе локальные установки по обработке: отработанных концентрированных технологических растворов; выделенных осадков (отходов); сбрасываемых отдельных потоков (обычно небольшого расхода) опасных стоков. Балансовая схема водоснабжения текстильного предприятия с использованием «хвостовых установок» для выделения ценных компонентов представлена на рис. 3.

Разработанная замкнутая система водного хозяйства текстильного предприятия с извлечением и дальнейшей переработкой содержащихся загрязнителей ориентирована на материалосберегающие малоотходные технологии, исключая выброс компонентов-загрязнителей. Для характеристики разработанной технологии можно принять коэффициент использования воды и выделенных загрязнений, учитывающий коэффициент повторного использования очищенной воды в обороте и коэффициент повторного использования выделенных загрязнений как показатель эффективности (который складывается из  $K_B$  и  $K_3$ ) данной технологии, стремящейся к 2. Естественно, что с решением задачи полной замкнутой системы водоснабжения текстильного предприятия с учетом безотходного производства эта величина должна равняться 2, а замкнутые системы водоснабжения являются единственным рациональным решением проблемы использования воды в промышленности. Иного решения просто не существует. Можно, конечно, сделать полностью

безводное предприятие, однако его технико-экономические показатели мгновенно «прекратят его существование», что уже и было опробовано в практике. Более того, в перспективе замкнутые системы водоснабжения найдут широчайшее применение в коммунальном и сельском хозяйстве, чему есть серьезные объективные предпосылки [5].



Рис. 3. Балансовая схема водоснабжения текстильного предприятия

**Выводы.** Анализ и обобщение отечественных и зарубежных научных достижений показал следующее, что на сегодняшний момент является целесообразным:

- 1) проектирование отдельных сетей с отведением стоков от конкретных технологических операций;
- 2) проектирование локальных сооружений для каждой отдельной сети канализации с целью их повторного использования, что позволяет создать замкнутые системы для конкретных технологических процессов, обеспечивает достаточное качество воды, используемой в технологическом процессе, с потреблением свежей воды только для подпитки системы;
- 3) для исследования был выбран метод обработки сточных вод текстильного предприятия упариванием, который обеспечивает получение высококачественного дистиллята и концентрата, пригодного для дальнейшего использования;
- 4) снижение водопотребления предприятия на 90 % за счет устройства оборотной системы водоснабжения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимов А. Я., Таварткиладзе И. М., Ткаченко Л. И. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности. Киев : Техника, 1985. 230 с.
2. Ильин В. И. Эффективный метод очистки сточных вод текстильных предприятий // Текстильная промышленность. 2004. № 5. С. 50—51.
3. Исследование условий концентрирования сточных вод, содержащих красители / А. А. Герашенкои др. // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи — развитию науки и образования : материалы III Международного науч. форума молодых учен., студ. и школьников. Астрахань. 2014. С. 283—285.

4. Москвичева Е. В., Москвичева А. В., Сахарова А. А. Электрохимический способ извлечения кубовых красителей из сточных вод красильно-печатных производств // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 43(62). С. 152—160.

5. Александров В. И. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2005. № 1. С. 31—32.

© Геращенко А. А., Сахарова А. А., Ханова Е. Л., Коробков В. А., Волкова А. С., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Разработка замкнутой системы водоснабжения на предприятии текстильной промышленности / А. А. Геращенко, А. А. Сахарова, Е. Л. Ханова, В. А. Коробков, А. С. Волкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 131—139.

Об авторах:

**Геращенко Алла Анатольевна** — 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

**Сахарова Анастасия Андреевна** — ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

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

**Коробков Владимир Анатольевич** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

**Волкова Анастасия Сергеевна** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, vas\_97@mail.ru

**Alla A. Gerashchenko, Anastasiya A. Sakharova, Elena L. Khanova,  
Vladimir A. Korobkov, Anastasiya S. Volkova**

*Volgograd State Technical University*

## DEVELOPMENT OF A CLOSED WATER SUPPLY SYSTEM AT THE ENTERPRISE OF THE TEXTILE INDUSTRY

Based on a modern integrated approach with an economical process of processing chemically contaminated industrial waste and organizing a closed water supply system, it is proposed to use one of the most promising methods of wastewater treatment — evaporation. In the process of evaporation, high-quality distillate is obtained, which is returned to the technology of spinning, weaving and dyeing and printing production, and highly concentrated solutions or sludges, which are sent for further processing, utilization or storage, which ensures the creation of waste-free production.

**Key words:** closed water systems, evaporation, waste-free production, tail installations.

*For citation:*

Gerashchenko A. A., Sakharova A. A., Khanova E. L., Korobkov V. A., Volkova A. S. [Development of a closed water supply system at the enterprise of the textile 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], 2019, iss. 2, pp. 131—139.

*About authors:*

**Alla A. Gerashchenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

**Anastasiya A. Sakharova** — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

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

**Vladimir A. Korobkov** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

**Anastasiya S. Volkova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, vas\_97@mail.ru

УДК 628.349.087:664

**Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, В. А. Коробков, А. В. Щербаков, Л. В. Олефиренко**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ИНДУСТРИИ**

Представлены результаты исследований, доказывающие целесообразность применения метода электрохимического окисления для очистки сточных вод предприятий пищевой индустрии. Выявлены оптимальные значения основных технологических параметров проведения процесса электроокисления водных сред, обеспечивающие высокий эффект их очистки.

**Ключевые слова:** сточные воды, метод электроокисления, очистка многокомпонентных сточных вод.

В современных условиях значительный эффект повышения рациональности использования и экономии водных ресурсов России может быть достигнут путем создания сбалансированных систем водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий, что, несомненно, будет способствовать снижению экологического риска ухудшения качества поверхностных и подземных вод.

Очистка сточных вод (СВ), сбрасываемых в водные объекты, остается серьезной проблемой. Процент нормативно-очищенных СВ к объему стоков, требующих очистки, составляет в промышленности — 14,9 %, в жилищно-коммунальном хозяйстве — 7,8 %, а в сельском хозяйстве — 0,6 %.

Пищевая и перерабатывающая промышленность — одна из стратегических отраслей экономики, призванная обеспечить устойчивое снабжение населения необходимыми продуктами народного потребления. Однако по степени интенсивности отрицательного воздействия на окружающую природную среду предприятий пищевой промышленности (ППП) первое место занимают водные ресурсы, в несколько меньшей степени ущерб наносится воздуху и почве [1, 2].

Предприятия пищевой промышленности ежегодно используют около 60 млн м<sup>3</sup> воды, объем сбросов составляет 46 млн м<sup>3</sup>. Доля загрязненных СВ к общему объему воды достигает 77 %, что говорит о низкой эффективности работы имеющихся очистных сооружений либо об их отсутствии. За последние пять лет водопотребление предприятий пищевой промышленности значительно выросло [3—6].

По объему и концентрации загрязнений СВ пищевые производства занимают лидирующую позицию [7].

Очистка СВ на ППП имеет приоритетное значение вследствие низкой эффективности возврата воды в технологический цикл и водоемкости основных производственных процессов. Предприятия пищевой промышленности (молокозаводы, винозаводы, кондитерские фабрики, табачные фабрики, мясокомбинаты и др.) являются крупнейшими водопотребителями, порой количество потребляемой свежей воды на предприятиях указанной отрасли в несколько раз превышает объем перерабатываемого сырья [8, 9].

Несмотря на значительный расход воды, по содержанию загрязнений органического происхождения производственные стоки ППП относятся к категории высококонцентрированных и имеют нестабильные по качеству и количеству показатели [10, 11]. Эти воды характеризуются высокими показателями БПК, ХПК, взвешенных веществ, жиров и др.

На территории Российской Федерации имеется значительное число промышленных предприятий, на которых в соответствии с действующим постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 26.07.2018) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» не обеспечивается необходимый уровень содержания вредных примесей в СВ перед сбросом их в канализационную сеть города.

Среди источников образования СВ следует выделить предприятия табачной промышленности. Главной особенностью СВ обозначенной отрасли является их сложный многокомпонентный состав, характеризующийся высоким содержанием органических загрязнений. Поступление указанных СВ в городскую канализационную сеть способствует заиливанию трубопроводов, а также нарушению кислородного режима и изменению микрофлоры, что, в свою очередь, приводит к снижению эффективности биологической очистки на городских канализационных очистных сооружениях.

Анализ литературных источников свидетельствует о недостаточной проработке технологических подходов в вопросах очистки многокомпонентных стоков предприятий табачной индустрии, позволяющих на основе ресурсосберегающих технологий не только эффективно очищать производственные СВ, но и использовать их в дальнейшем в водообороте предприятия, что способствует повышению экологической безопасности потребителей воды.

На первом этапе были выявлены основные источники образования промышленных СВ предприятия табачной индустрии РФ и определен их химический состав, что является важным для выбора необходимой схемы очистки (табл. 1).

Для разработки эффективной технологии очистки СВ предприятия табачной индустрии РФ в лабораторных условиях были апробированы некоторые механические, физико-химические и химические методы очистки, по результатам которых выявлено, что основному требованию, предъявляемому к технологии очистки СВ на ТФ, а именно доведение количества загрязняющих веществ в производственных стоках до ПДК, позволяющих не только сбрасывать очищенную воду в канализационную сеть города, но и использовать ее для оборотной и ЗСВ, отвечает способ электрохимического окисления.

Исходя из состава СВ, образующихся на табачной фабрике, предложена предварительная технологическая схема очистки, базирующаяся на методе электрохимического окисления в сочетании с предварительной механической очисткой и последующей доочисткой сорбционным методом.

Далее представлены результаты исследований по выбору приемлемых значений технологических параметров проведения электроокисления, таких как материал электродов, анодная плотность тока, время электрообработки, температура и рН обрабатываемой жидкости, концентрация поваренной соли, время отстаивания.

Таблица 1

Усредненные показатели химического состава СВ, образующихся на предприятиях табачной индустрии РФ за период 2015—2017 гг.

Места отбора проб (категория СВ) Наименование показателей	*ПДК	**ФК	ПДК	ФК	ПДК	ФК	ПДК	ФК	ПДК	ФК
	№ 1 — линии ESS и CRES		№ 2 — бытовые табачного цеха		№ 3 — сигаретный цех		№ 4 — быт. помещ.+ лаб. корпус		№ 5 — выход с фаб- рики	
	Производственные		Хоз.-бытовые		Производственные		Хоз.-бытовые		Смешанные	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	41,09	153	41,09	22	41,09	242	41,09	38	41,09	181
БПК <sub>полн.</sub> , мг·О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	34,44	1410	34,44	59	34,44	543	34,44	244	34,44	1856
ХПК, мг·О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	51,66	2455	51,66	97	51,66	824	51,66	373	51,66	2830
Железо (общ.), мг/дм <sup>3</sup>	0,24	0,12	0,24	0,18	0,24	0,23	0,24	0,15	0,24	0,2
Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	10	5,7	10	1,69	10	2,78	10	4,3	10	5,9
Аммоний (NH <sub>4</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	26,98	44,11	26,98	8,08	26,98	48,35	26,98	12,77	26,98	32,5
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,862	0,59	0,862	0,44	0,862	0,62	0,862	0,42	0,862	0,94
АПАВ, мг/дм <sup>3</sup>	0,41	23,6	0,41	6,4	0,41	24,8	0,41	30,2	0,41	21,8
Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	1,3	< 0,05	1,3	0,66	1,3	0,85	1,3	0,14	1,3	0,56
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	97,30	83	97,30	71	97,30	78	97,30	77	97,30	75
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	490	920	490	160	490	782	490	162	490	834
Прокаленный остаток, мг/дм <sup>3</sup>	—	250	—	217	—	229	—	220	—	225
рН	6,5—7,5	6,1	6,5—7,5	7,75	6,5—7,5	8,8	6,5—7,5	7,2	6,5—7,5	6,69

Примечание. \*ПДК — предельно допустимая концентрация, принятая согласно постановлению Администрации Волгограда от 18 июня 2015 г № 840; \*\*ФК — фактическая концентрация.

Сущность метода электрохимического окисления загрязнений в СВ заключается в обработке некондиционной жидкости постоянным электрическим током в аппарате с нерастворимыми электродами в условиях анодной поляризации. Для успешного осуществления электрообработки необходим соответствующий подбор материала анода и определенных режимных параметров обработки: плотности тока, времени обработки стоков, температуры, рН среды и концентрации раствора поваренной соли [12].

Основными свойствами, обуславливающими пригодность того или иного материала в качестве анодов, является достаточная механическая прочность, технологичность изготовления и химическая устойчивость к агрессивным средам [13], а также перенапряжение ( $\eta$ ), т. е. отклонение фактического потенциала электрода от равновесного потенциала протекающей на нем реакции [14], характеризующий электрохимическую активность электродного материала. Чем меньше перенапряжение реакции на данном электроде, тем при более низком потенциале электрода и, следовательно, при меньших затратах электроэнергии осуществима эта реакция. Выделение, например, кислорода, хлора на различных электродах происходит при разных потенциалах, и при выборе материала электродов для проведения определенной электрохимической реакции необходимо учитывать значение перенапряжения [13].

Из этого следует, что в качестве материала электродов наиболее пригодны металлы с низким перенапряжением, например платина. В силу экономических факторов [13] в аппаратах (электролизерах) для проведения электроокисления загрязняющих компонентов СВ целесообразнее применять нерастворимые металлоксидные аноды ОРТА, ОКТА или ТДМА (титановая основа с активным поверхностным покрытием смесью оксидов титана, рутения, марганца и кобальта), а также электроды из графита.

Для определения электрохимических параметров, выбора анодного материала при деструкции органических соединений, загрязняющих СВ предприятия табачной индустрии РФ, были исследованы анодные кривые. При снятии поляризационных кривых использовались электроды, выполненные из титана с активным покрытием на основе оксида кобальта (ОКТА), диоксида рутения (ОРТА) и графита. Исследования проводились на реальных СВ, прошедших предварительно механическую очистку (отстаивание) и содержащих с учетом этого органические и неорганические соединения (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

*Состав реальных СВ для изучения кинетики процесса электроокисления органических и неорганических соединений*

Загрязняющий компонент	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Загрязняющий компонент	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	115	Нефтепродукты	0,6
БПК <sub>полн.</sub>	1685	АПАВ	21,8
ХПК	2190	Фосфаты	0,56
Железо <sub>общ.</sub>	0,2	Хлориды	59
Жиры	4	Сульфаты	75
Аммоний (NH <sub>4</sub> )	32,5	рН	6,7

Анодные кривые сняты на потенциостате ПИ-50-1.1 в комплекте с программатором и двухкоординатным регистрирующим прибором ПДА 1 и представлены на рис. 1.

Проанализировав компонентный состав исследуемых СВ при различных плотностях тока, а также анодные поляризационные кривые, видим, что оптимальная плотность тока, необходимая для максимальной деструкции органических загрязнителей, составляет  $3,1...3,7 \text{ A/дм}^2$ .

Наиболее эффективно процесс электроокисления для изучаемых СВ протекает на аноде ОКТА. Электрохимические характеристики и полученный результат по степени очистки у анодов ОКТА и ОРТА сопоставимы, но стоимостные показатели анодов ОКТА выше, поэтому экономичнее использовать аноды ОРТА.

Для подтверждения сделанного вывода об эффективности использования того или иного материала анода дальнейшие лабораторные исследования проводились на реальных СВ, состав которых представлен в табл. 3, при максимально необходимой плотности тока —  $3,7 \text{ A/дм}^2$  и времени обработки 20 минут. В результате были получены следующие зависимости степени очистки от материала анода (рис. 2).

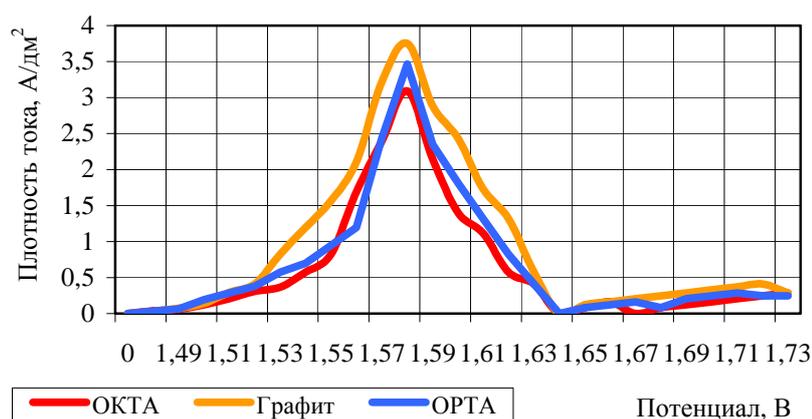


Рис. 1. Поляризационные кривые окисления органических соединений, загрязняющих СВ предприятия табачной индустрии РФ

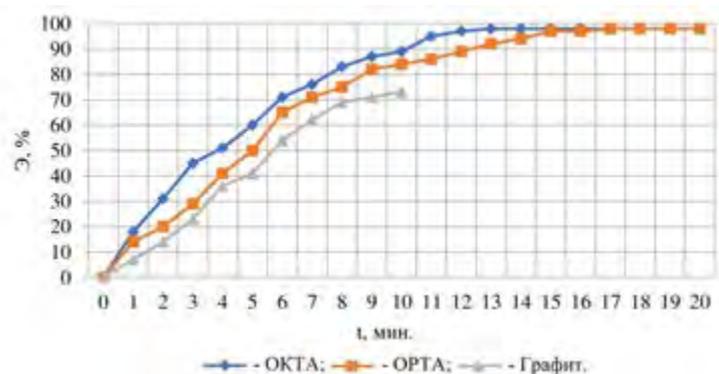


Рис. 2. Зависимость степени очистки СВ предприятия табачной индустрии РФ от материала анода (плотность тока —  $3,7 \text{ A/дм}^2$ , время обработки — 20 минут)

Таким образом, по результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы: максимальная степень очистки при наименьшем времени обработки (15 минут) и плотности тока  $3,5 \text{ A/дм}^2$  достигается проведением процесса электроокисления на электродах ОКТА. Однако, как отмечалось выше, использование анодов ОКТА в промышленных условиях приводит к значительному удорожанию процесса очистки, поэтому целесообразно применять анод ОРТА, имеющий значения эффективности очистки, близкие к ОКТА. Применение в качестве материала анода графита не позволяет достигать значений эффективности очистки, близких к ОКТА и ОРТА. Исходя из этого, дальнейшее изучение процесса электрохимического окисления СВ от органических загрязнений производилось с использованием в качестве анода ОРТА.

Параметрами, обеспечивающими глубокое электроокисление органических примесей при электрохимической обработке СВ, загрязненных органическими веществами, являются продолжительность электролиза и анодная плотность тока [12].

При проведении экспериментов по изучению влияния времени обработки электрическим током на степень очистки обозначенных стоков время варьировалось в пределах от 1 до 20 минут. Повышение времени обработки нецелесообразно, так как по результатам проведенных ранее исследований по выбору материала анода видно, что максимальная степень очистки достигается за время, не превышающее 15 минут. Однако следует учесть то, что обозначенные исследования проводились при максимально необходимой плотности тока ( $3,7 \text{ A/дм}^2$ ). Оптимальное время обработки проводилось на реальных СВ (табл. 2) при варьировании плотности тока от 1 до  $4 \text{ A/дм}^2$ . В качестве материала анода при проведении исследований применялся ОРТА. Зависимости степени очистки СВ от времени электрообработки представлены на рис. 3.

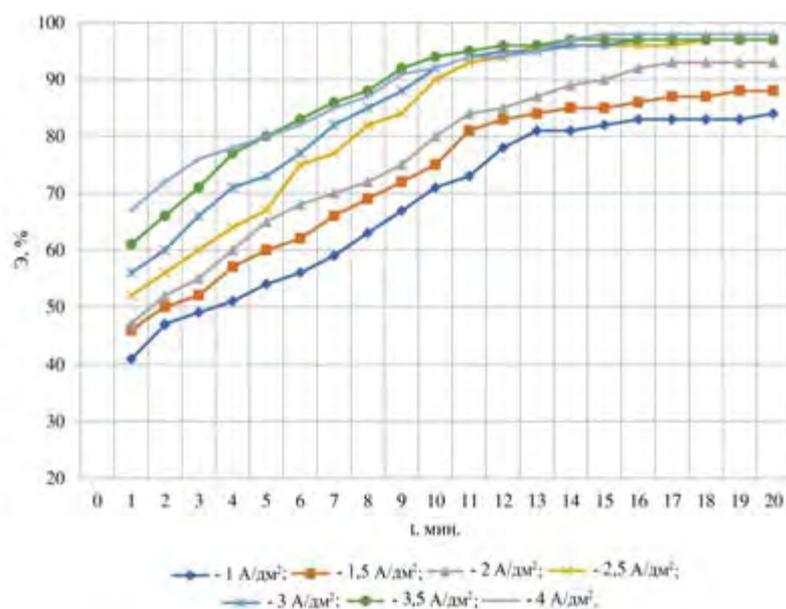


Рис. 3. Зависимость степени очистки от времени обработки СВ предприятия табачной индустрии РФ (анод — ОРТА)

Таким образом, проведя анализ полученных зависимостей (рис. 3), предварительно можно определить, что оптимальная величина времени электрообработки СВ, загрязненных органическими загрязнениями, находится в интервале от 12 до 15 минут. При этом минимальная плотность тока составляет  $2,5 \text{ А/дм}^2$ .

Как было указано, к основным параметрам, обеспечивающим глубокое электроокисление органических примесей при обработке СВ, являются анодная плотность тока и продолжительность электролиза [13].

Плотность тока выражает скорость электрохимической реакции, следовательно, скорость этой реакции, подобно скорости химической реакции, показывает число химических превращений на границе электрод — раствор, приводящих к образованию продуктов реакции на единицу поверхности раздела фаз за единицу времени [14].

Величина силы тока варьировалась от  $1,5$  до  $4,0 \text{ А/дм}^2$ , время пребывания — 15 минут. Кроме того, исследования проводились при различных значениях pH среды путем корректировки первоначальных значений реальных СВ, состав которых представлен в табл. 2. Результаты опытов приведены на рис. 4.

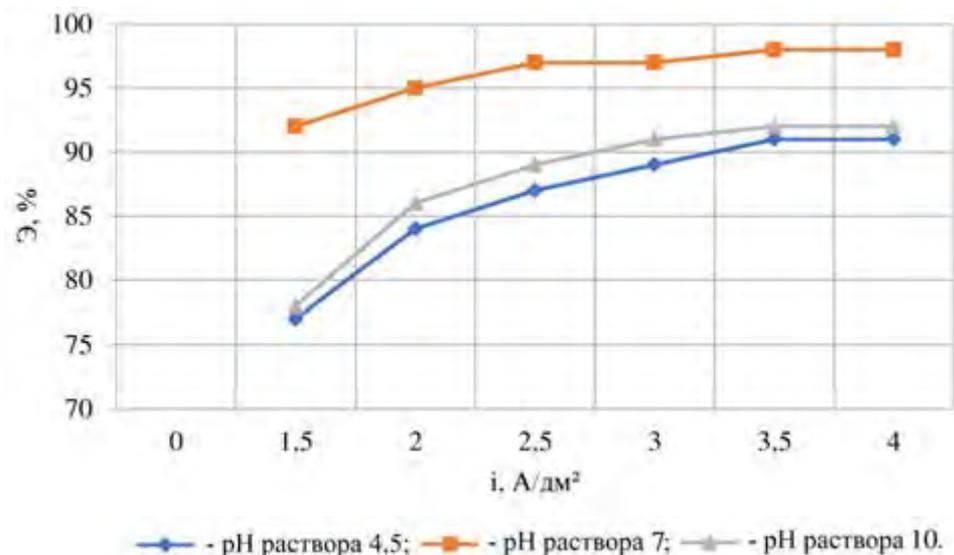


Рис. 4. Зависимость степени очистки СВ предприятия табачной индустрии РФ от плотности тока (время обработки — 15 мин, анод — ОРТА)

Как показали результаты проведенных исследований, степень очистки СВ от органических веществ прямо пропорциональна плотности тока и времени обработки воды. Максимальная степень очистки достигается при плотности тока, находящейся в интервале от  $2,5$  до  $3,5 \text{ А/дм}^2$ .

**Выводы.** По результатам проведенных исследований определены оптимальные значения основных факторов, влияющих на эффективность очистки сточных вод ТФ методом электроокисления: материал анода — ОРТА, плотность тока составляет  $3,5 \text{ А/дм}^2$ , время обработки — 15 минут.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бирагова С. Р.* Разработка технологии глубокой очистки сточных вод предприятий по производству спирта (на основе растительного сырья), направленной на экологизацию производства. Владикавказ : Сев.-Осет. гос. ун-т, 2012. 86 с.
2. *Лоренц В. И.* Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. Киев : Будівельник, 1972. 186 с.
3. *Маркитанова Л. И., Кисс В. В., Каверзнева Т. Т.* Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности : учеб. пособие. Санкт Петербург : СПбГУНиПТ, 2006. 134 с.
4. *Фрог Б. Н., Левченко А. П.* Водоподготовка. М. : МГУ, 1996. 680 с.
5. *Fresenius W., Schneider W., Bohnk B.* Waste water technology. Berlin : Springer. Verl, 1989. 138 p.
6. Standart handbook of hazardous waste treatment and disposal / Ed. H. McGraw. HillBook Co., 1989. 1417 p.
7. *Тимонин А. С.* Инженерно-экологический справочник. М. : АСВ, 2003. Т. 2. 845 с.
8. *Алексеев А. И., Валов М. Ю., Юзвяк З. Е.* Критерии качества водных систем : учеб. пособие. Санкт Петербург : Химиздат, 2002. 212 с.
9. *Алферова Л. А., Нечаев А. П.* Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / под общ. ред. С. В. Яковлева. М. : Стройиздат, 1984. 272 с.
10. *Чеботаева М. В.* Очистные сооружения BIOMAR® в индустрии напитков в России // Пиво и напитки. 2008. № 4. С. 44—45.
11. *Chipasa K. B.* Limits of physicochemical treatment of wastewater in the vegetable oil refining industry // Pol. J. Environ. Stud. 2001. № 10(3). Pp. 141—147.
12. *Краснобородько И. Г.* Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Ленинград : Химия, 1988. 192 с.
13. *Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М.* Технология электрохимической очистки воды. Ленинград : Стройиздат, 1987. 312 с.
14. *Нонхибел Д., Уолтон Д.* Химия свободных радикалов. М. : Мир, 1977. 351 с.

© *Игнаткина Д. О., Москвичева А. В., Коробков В. А., Щербаков А. В., Олефиренко Л. В., 2019*

*Поступила в редакцию  
в январе 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, В. А. Коробков, А. В. Щербаков, Л. В. Олефиренко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 140—148.

*Об авторах:*

**Игнаткина Дарья Олеговна** — аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

**Москвичева Анастасия Владимировна** — канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

**Коробков Владимир Анатольевич** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

**Щербаков Александр Викторович** — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

**Олефиренко Лилия Владимировна** — магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv\_vgasu@mail.ru

---

***Dar'ya O. Ignatkina, Anastasia V. Moskvicheva, Vladimir A. Korobkov,  
Aleksandr V. Shcherbakov, Liliya V. Olifirenko***

***Volgograd State Technical University***

### **SOME FEATURES OF THE ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF WASTEWATER OF FOOD INDUSTRY**

The results of researches proving expediency of application of a method of electrochemical oxidation for sewage treatment of the enterprises of the food industry are presented. The optimal values of the main technological parameters of the process of electrooxidation of aqueous media, providing a high effect of their purification.

**Key words:** waste water, electro-oxidation method, multicomponent wastewater treatment.

***For citation:***

Ignatkina D. O., Moskvicheva A. V., Korobkov V. A., Shcherbakov A. V., Olifirenko L. V. [Some features of the electrochemical treatment of wastewater of food 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], 2019, iss. 2, pp. 140—148.

***About authors:***

**Dar'ya O. Ignatkina** — Postgraduate student, Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

**Anastasia V. Moskvicheva** — Candidate of Engineering Science, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

**Vladimir A. Korobkov** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

**Aleksandr V. Shcherbakov** — Master's Degree student, Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

**Liliya V. Olifirenko** — Master's Degree student, Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

УДК 62-82:69.002.5

**Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, Ю. М. Фетисов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН**

В строительной индустрии широко используются гидрофицированные машины и оборудование, например: бульдозеры, эксковаторы, манипуляторы, грузоподъемные машины, подъемники и др., оснащенные объемными гидроприводами поступательного движения, которые в эксплуатации подвержены знакопеременным нагрузкам, вызывающим разрушение рукавов высокого давления и несанкционированный выброс в атмосферу рабочей жидкости. Современные технические решения не в полной мере устраняют упомянутый недостаток. В этой связи проведен анализ существующих способов защиты гидропривода и разработана конструкция устройства защиты гидропривода машин, которая при аварии надежно перекрывает поврежденную гидролинию гидропривода и устраняет выброс рабочей жидкости в атмосферу.

**Ключевые слова:** гидравлическая система, система защиты гидропривода, запорное устройство, плунжер, клапан, напорная гидролиния, сливная гидролиния.

В наземных тягово-транспортных средствах, строительно-дорожных, промышленных машинах и др. гидрофицированном рабочем оборудовании широко используется объемный гидропривод. Рабочий процесс таких машин, как правило, сопровождается резко выраженными динамическими нагрузками, поэтому в технологическом рабочем процессе машин любого назначения постоянно меняется нагрузочный режим. Оператор до 800 раз в смену переключением гидрораспределителя гидравлической системы изменяет направление силового потока рабочей жидкости, что вызывает динамические нагрузки в рукавах высокого давления, которые приводят к их разрушению и несанкционированному выбросу в атмосферу рабочей жидкости. При годовом режиме работы, например, бульдозера число включений гидрораспределителя составляет примерно 200 тысяч, а цикличность нагружения — до 6 с, что вызывает усталостные напряжения в рукавах. С целью повышения производительности машин разработчик вынужден увеличивать мощность и номинальное рабочее давления в гидравлической системе, что также приводит к усталостному разрушению рукавов высокого давления и несанкционированному выбросу рабочей жидкости в атмосферу (для энергонасыщенных машин до 300 л за один выброс) и наносит ущерб экологической безопасности [1, 2]. Поэтому одним из основных мероприятий, предотвращающих разрушение в эксплуатации рукавов высокого давления, является оптимизация рабочего давления: для гидравлических систем, оснащенных гибкими рукавами высокого давления, — до 18...20 МПа, а для металлических — до 45...60 МПа.

Однако ограничение рабочего давления для гидравлических систем, оснащенных гибкими рукавами, не решает проблему разрушения рукавов высокого давления и выброса в атмосферу рабочей жидкости, поэтому совершенствование конструкции систем защиты гидроприводов машинно-технологических комплексов и технологий, поиск экологически безопасных,

безвредных рабочих жидкостей для окружающей среды является актуальной задачей [1—4].

Одним из направлений повышения надежности защиты гидропривода является совершенствование трубопроводов. Номенклатура металлических трубопроводов с шарнирными сочленениями с многократным запасом прочности не гарантирует герметичность, поэтому требуется поиск новых технических решений. Последняя авторская разработка [5] показывает, что рукав с газовой оболочкой повышает его надежность, однако как оплеточные, так и навивочные рукава не гарантируют с ростом рабочего давления снижение циклических динамических нагрузок.

Эффективной защитой гидропривода можно считать применение гидромеханического способа. Данные исследования [1—4] показывают, что наиболее простой (рис. 1) [6] способ защиты гидропривода позволяет снизить потери при срабатывании запорного устройства до 0,17 л, однако присущий ему недостаток значительно повышает эти потери в эксплуатации.

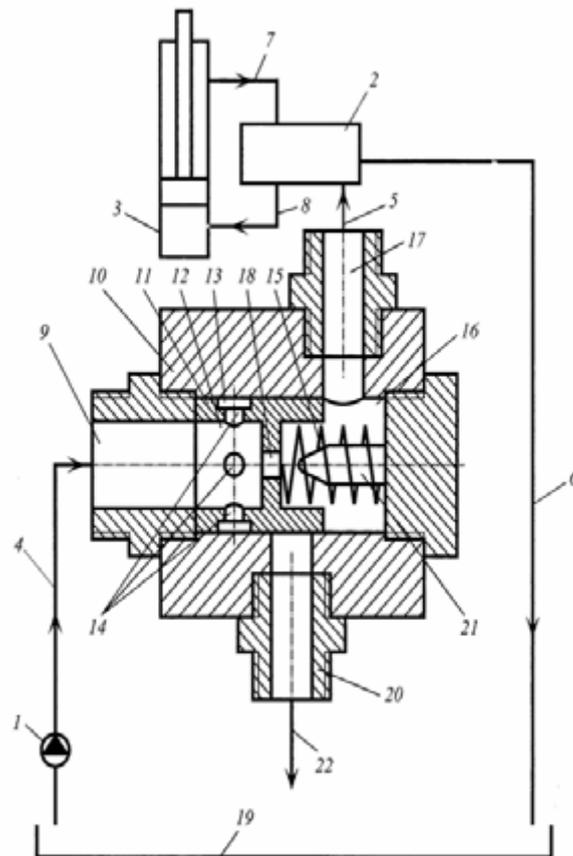


Рис. 1 Система защиты гидропривода: 1 — насос; 2 — гидрораспределитель; 3 — гидродвигатель; 4, 5, 7, 8 — напорная гидролиния; 6, 22 — сливная гидролиния; 9, 12 — входная полость; 10 — запорное устройство; 11 — подпружиненный золотник; 13 — проточка; 14 — радиальный канал; 15 — пружина; 16, 17 — выходная полость; 18 — осевой канал; 19 — гидробак; 20 — сливной штуцер; 21 — упор

Недостатком данной системы защиты гидропривода является то, что при разрушении рукавов высокого давления в конце хода золотника 11 между золотником и упором 21 образуется замкнутый несжимаемый объем рабочей жидкости, то есть «гидравлическая подушка», которая препятствует перемещению золотника и снижает надежность перекрытия поврежденной гидролинии.

В запорном устройстве (рис. 2) [7] авторами предложена конструкция, обеспечивающая поглощение энергии гидравлического удара, возникающего во время его срабатывания, с помощью пружинного демпфирования подвижного конического клапана 21 и гидравлического подпора. Несмотря на такое усовершенствование, по-прежнему сохраняется недостаток, обусловленный наличием «гидравлической подушки», то есть образованием несжимаемого объема рабочей жидкости между плунжером 11 и резьбовой пробкой запорного устройства в конце хода плунжера, препятствующего надежному перекрытию поврежденной гидролинии.

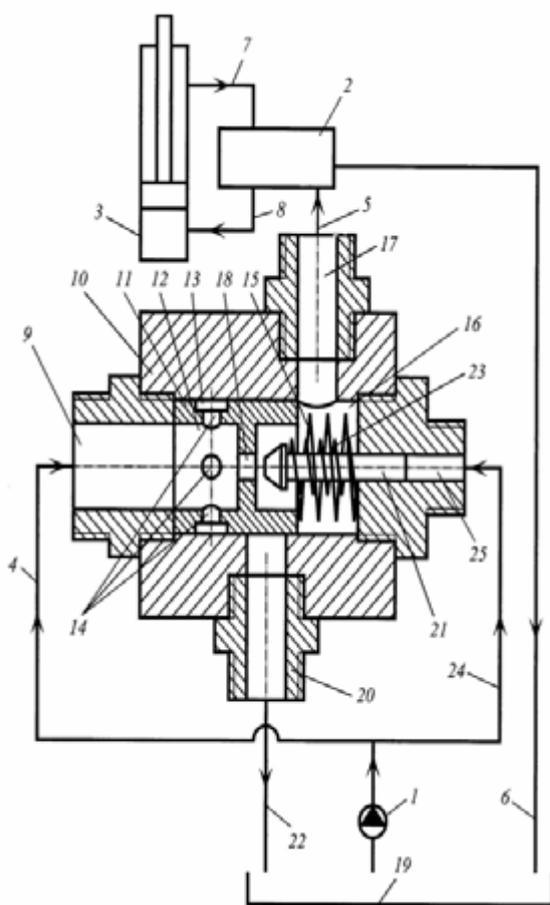


Рис. 2. Система защиты гидропривода: 1 — насос; 2 — гидрораспределитель; 3 — гидродвигатель; 4, 5, 7, 8, 24 — напорная гидролиния; 6, 22 — сливная гидролиния; 9, 12 — входная полость; 10 — запорное устройство; 11 — подпружиненный плунжер; 13 — проточка; 14 — радиальный канал; 15, 23 — пружина; 16, 17 — выходная полость; 18 — осевой канал; 19 — гидробак; 20 — сливной штуцер; 21 — конический клапан

В запорном устройстве (рис. 3, 4) [8] применена система светозвукового контроля момента срабатывания запорного устройства при разрыве гидролинии питания гидропривода, которая позволяет отслеживать падение давления рабочей жидкости в полости *B* и перекрытие плунжером *16* полости *B* и конусной поверхностью упора *21* осевого канала *19*, при этом контакты электрической цепи *30*, *31* и реле *29* замыкаются и срабатывает световая *31* и звуковая *32* сигнализации, оповещая оператора о срабатывании системы защиты устройства от несанкционированного выброса рабочей жидкости в атмосферу и автоматически с помощью соленоида *34* механизма *9* отключает подачу рабочей жидкости в поврежденную гидролинию.

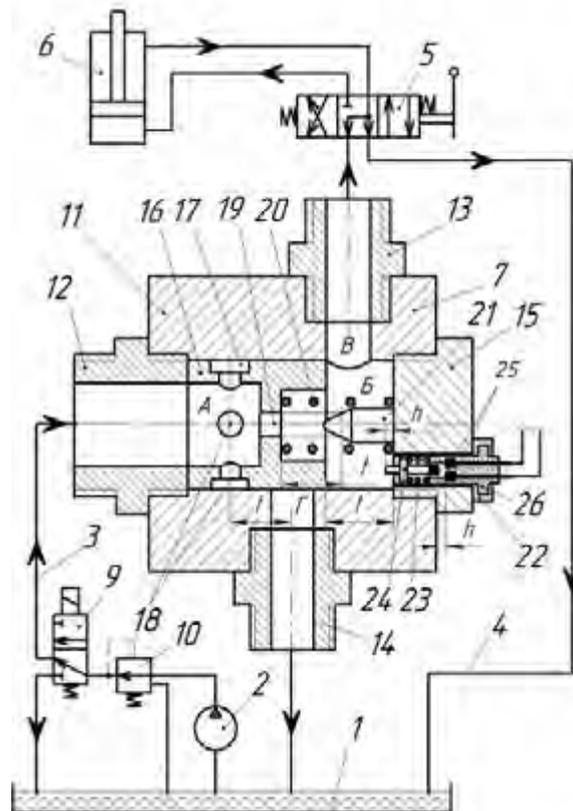


Рис. 3. Система защиты гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — сливная гидролиния; 5 — гидрораспределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — корпус; 10 — редукционный клапан; 11 — запорное устройство; 12–14 — штуцер; 15 — упор; 16 — подпружиненный плунжер; 17 — проточка; 18 — радиальный канал; 19 — осевой канал; 20, 23 — пружина; 22 — оболочка; 24 — шток; 25, 30, 33 — контакт; 26 — диэлектрик

Однако, несмотря на информативность процесса перекрытия поврежденной гидролинии, устройство обладает тем же недостатком, то есть в момент срабатывания запорного устройства в конце хода плунжера образуется «гидравлическая подушка», препятствующая перемещению плунжера и надежному перекрытию выходного канала.

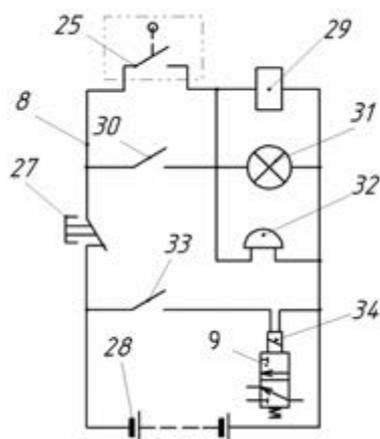


Рис. 4. Электрическая схема защиты гидропривода: 8 — цепь электрическая; 9 — механизм соленоида; 27 — выключатель; 28 — источник питания; 29 — реле; 31 — световой сигнал; 32 — звуковой сигнал; 34 — соленоид

Запорное устройство (рис. 5) [9] оснащено газовой камерой с гидравлическим подпором, которая при разрыве рукавов высокого давления выполняет функцию гасителя энергии гидравлического удара, приводящего к знакопеременным ударным нагрузкам на контактную поверхность клапана 18 и седла 17 канала плунжера 13 и колебательному процессу плунжера в период затухания ударной волны, а также в момент срабатывания запорного устройства в конце хода плунжера образуется «гидравлическая подушка», препятствующая перемещению плунжера и надежному перекрытию выходного канала. Таким образом, негативные последствия гидравлического удара нейтрализуются газовой камерой, поглощающей энергию ударной волны и сглаживающей динамическое воздействие на контактную поверхность клапана 18. Несмотря на такое преимущество запорного устройства, по-прежнему сохраняется упомянутый выше недостаток.

В конструкцию запорного устройства (рис. 6) [10] введен гидравлический затвор, позволяющий исключить просачивание через сопряжение клапана 18 рабочей жидкости в пространство между упором 12 и мембраной 34 газовой камеры и обеспечить быстрое действие перекрытия поврежденной гидролинии. Однако несжимаемый объем рабочей жидкости, образующийся в конце хода плунжера 13, препятствует его перемещению и надежному перекрытию поврежденной гидролинии, что является недостатком.

Учитывая сложность конструкции запорного устройства (рис. 5, 6), в котором газовая камера дублирует подпружинивание клапана (рис. 7) [11], предлагается исключить гидравлический подпор. Несмотря на преимущество рассмотренных устройств, по-прежнему сохраняется упомянутый выше недостаток.

Для устранения этого недостатка предлагается установить разгрузочный клапан (рис. 8) [12] со сливом несжимаемого объема рабочей жидкости в гидробак, что обеспечивает надежное перекрытие выходного канала запорного устройства.

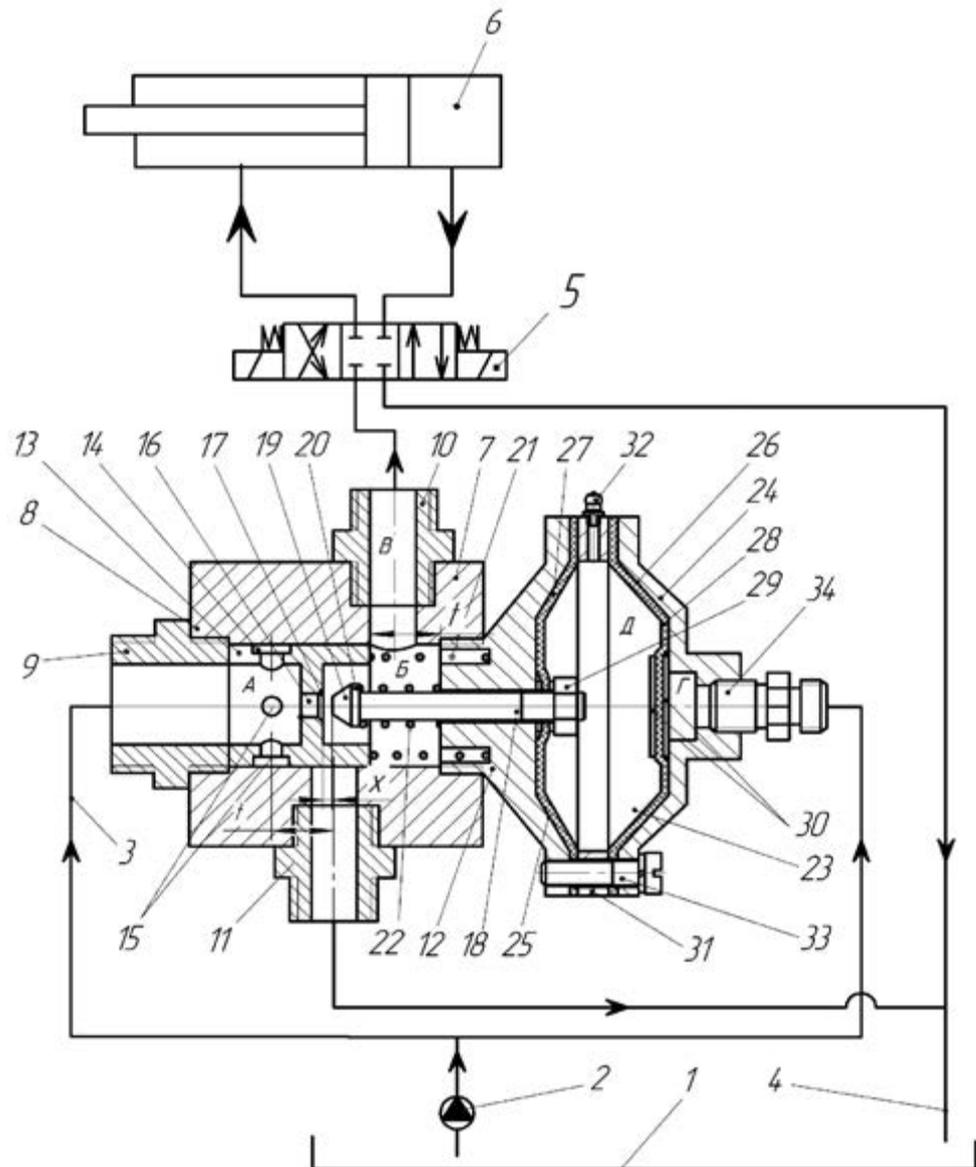


Рис. 5. Запорное устройство гидропривода с гидравлическим подпором: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — плунжер; 14 — кольцевая проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — осевой канал; 17 — коническое седло; 18 — подпружиненный клапан; 19 — конус клапана; 20 — буртик клапана; 21, 22 — пружина; 23 — газовая камера; 24 — крышка; 25 — полусфера упора; 26 — полусфера крышки; 27, 28 — мембрана; 29 — резьбовое соединение; 30 — пластина; 31 — кольцо; 32 — ниппель нагнетательный; 33 — винт; 34 — штуцер

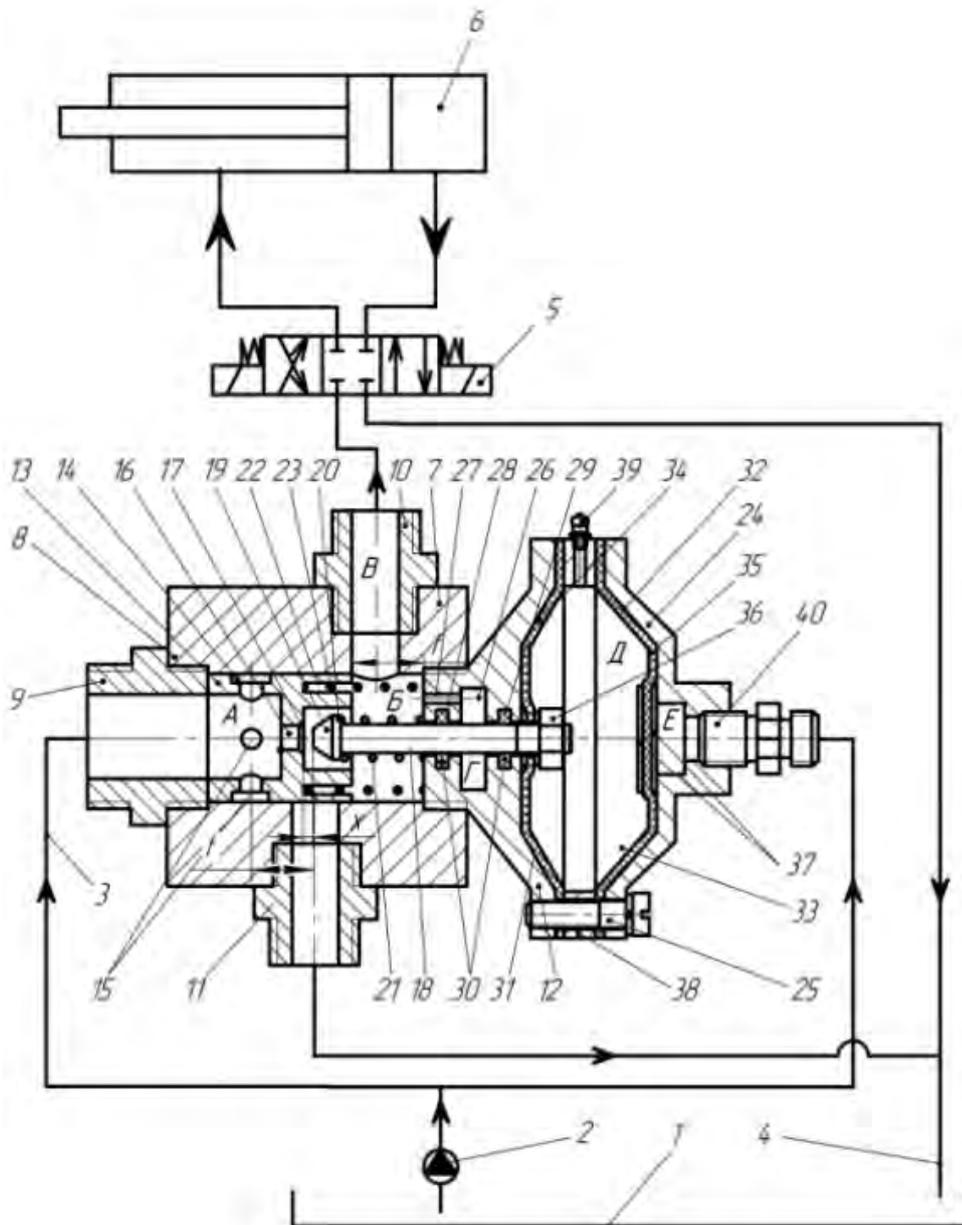


Рис. 6. Гидравлический затвор запорное устройство гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — плунжер; 14 — кольцевая проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — осевой канал; 17 — коническое седло; 18 — подпружиненный клапан; 19 — конус клапана; 20 — буртик клапана; 21, 23 — пружина; 22 — проточка; 24 — крышка; 25 — винт; 26 — гидравлический затвор; 27 — канал; 28, 29 — проточка; 30 — уплотнительное кольцо; 31, 32 — полусфера; 33 — герметичная камера; 34, 35 — мембрана; 36 — резьбовое соединение; 37 — пластина; 38 — кольцо; 39 — нагнетательный ниппель; 40 — штуцер

Недостатком этой конструкции является то, что в эксплуатации в рабочем режиме гидропривода при неисправном разгрузочном клапане, например при потере эластичности уплотнительного кольца или его разрушении, через поршневую полость разгрузочного клапана произойдет слив рабочей жидкости из гидролинии высокого давления в гидробак, минуя гидрораспределитель и гидродвигатель, в результате чего произойдет остановка рабочего органа машины, что повлечет за собой остановку технологического процесса и снижение эффективности работы системы защиты гидропривода.

Анализ варианта (рис. 8) запорного устройств системы защиты гидропривода от несанкционированного выброса в атмосферу рабочей жидкости при разрушении рукавов высокого давления показывает, что наиболее простым решением является конструкция (рис. 9) [13] запорного устройства системы защиты гидропривода, в упоре 12 которого выполнен канал, сообщающий выходную полость запорного устройства с напорной гидролинией.

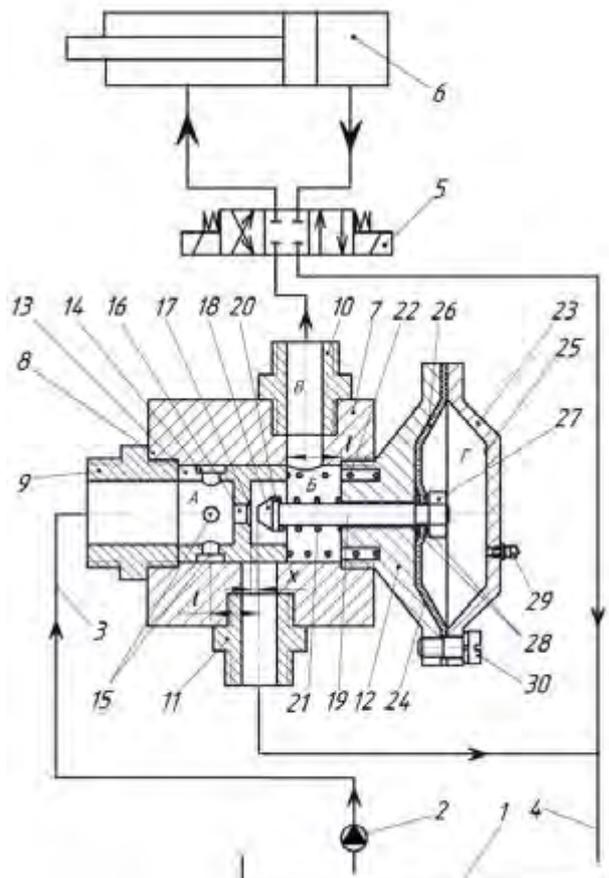


Рис. 7. Запорное устройство гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — подпружиненный плунжер; 14 — проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — канал плунжера; 17 — седло плунжера; 18 — клапан; 19 — конус клапана; 20 — упор клапана; 21, 22 — пружина; 23 — крышка; 24, 25 — полусфера; 26 — мембрана; 27 — резьбовое соединение; 28 — пластина; 29 — ниппель; 30 — крепление крышки

Система защиты гидропривода

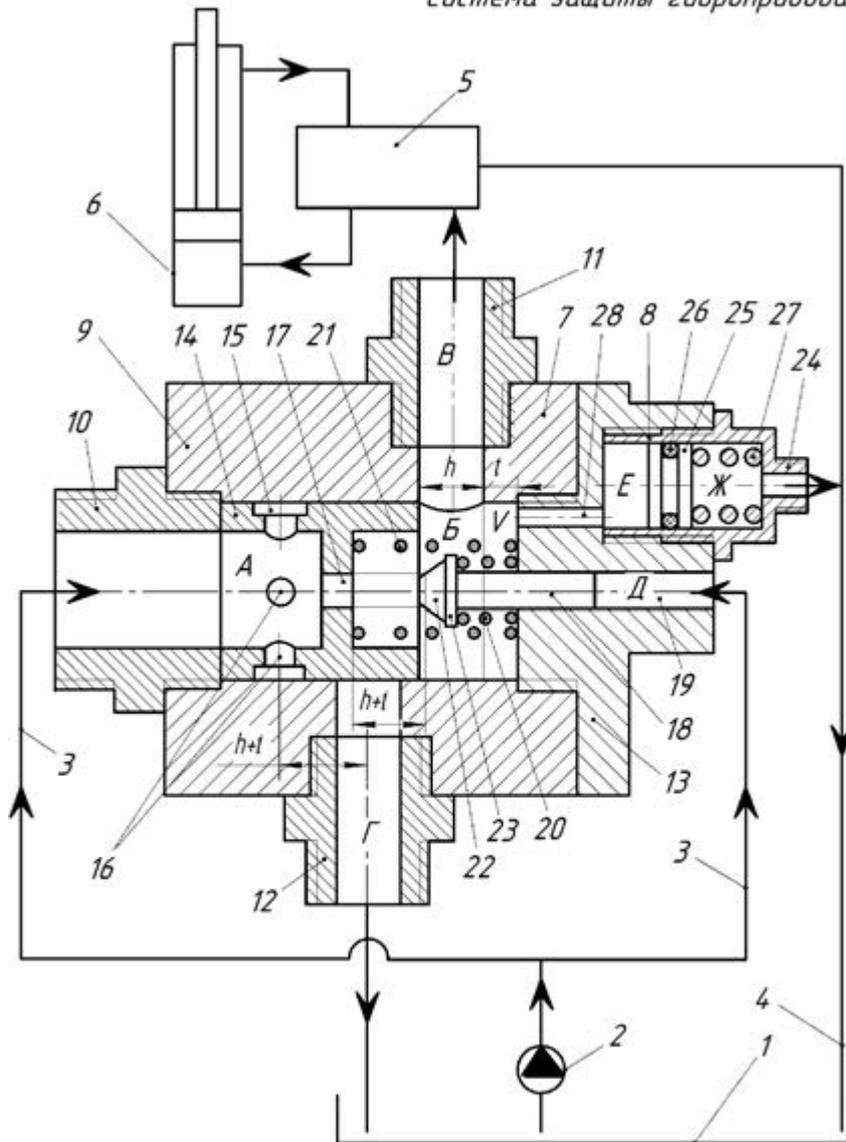


Рис. 8. Запорное устройство гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — разгрузочный клапан; 9 — корпус; 10 — выходной штуцер; 11 — выходной штуцер; 12 — сливной штуцер; 13 — упор; 14 — подпружиненный плунжер; 15 — проточка; 16 — радиальные отверстия; 17 — осевой канал; 18 — клапан; 19 — гидравлический подпор; 20, 21, 27 — пружина; 22 — конус клапана; 23 — буртик; 24 — штуцер; 25 — поршень; 26 — кольцо уплотнительное; 28 — канал

При срабатывании запорного устройства объем несжимаемой рабочей жидкости, заключенный между торцом упора 12 и плунжера 13 в конце его хода, вытесняется в напорную гидролинию 3, расположенную между каналом В штуцера 10 и гидрораспределителем 5, при этом обеспечивается беспрепятственное перемещение плунжера запорного устройства на величину полного его хода ( $h + t$ ), устраняется колебательный процесс плунжера, и обеспечива-

ется надежное перекрытие проходного сечения  $h$  канала  $B$  выходного штуцера  $10$ . Недостатком конструкции является то, что при разрушении рукавов высокого давления произойдет вытеснение замкнутого объема несжимаемой рабочей жидкости не на слив в гидробак  $1$ , а в атмосферу.

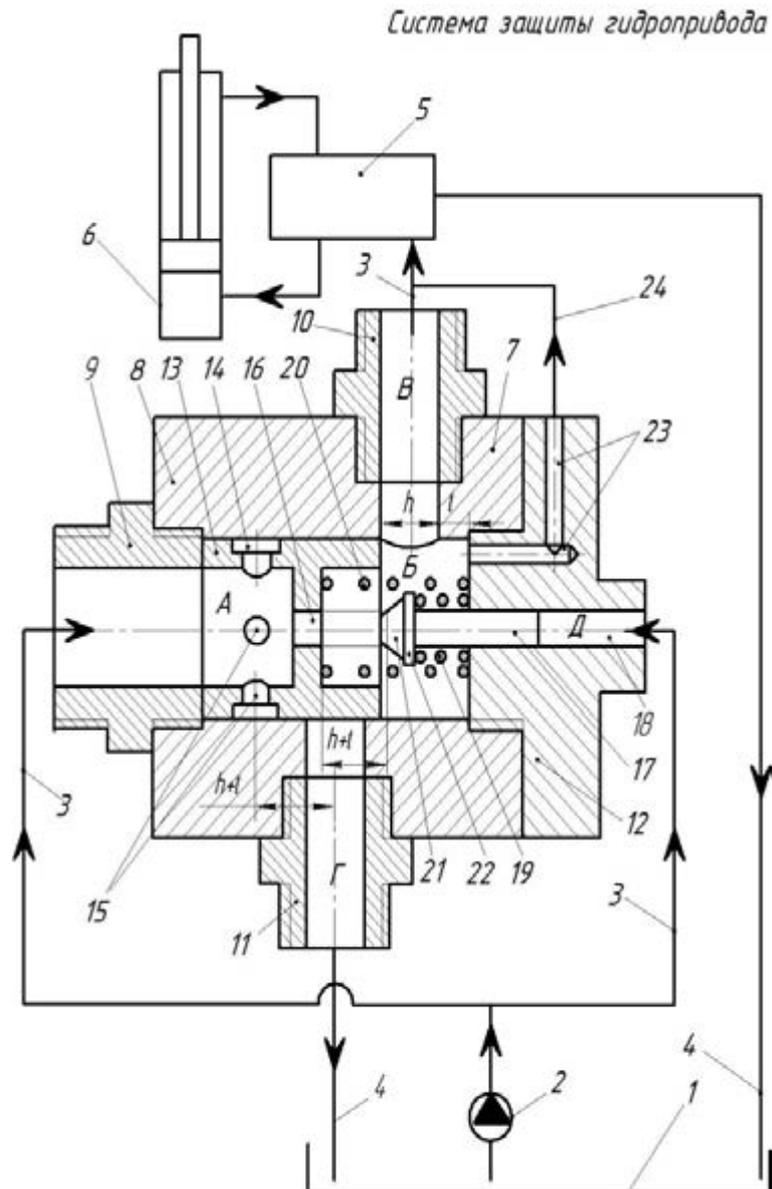


Рис. 9. Запорное устройство гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — плунжер; 14 — проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — канал плунжера; 17 — шток клапана; 18 — гидравлический подпор; 19, 20 — пружина; 21 — конус клапана; 22 — буртик клапана; 23 — канал упора; 24 — сливная гидролиния

Для устранения этого недостатка предлагается конструкция запорного устройства 3 (рис. 10), в плунжере 12 которого дополнительно выполнен канал Ж и изменена трасса транспортировки вытесняемого из выходной полости В запорного устройства 3 замкнутого объема несжимаемой рабочей жидкости, заключенной между торцом плунжера 12 и торцом упора 13 в конце хода плунжера, в момент разрушения рукавов высокого давления 7 и 8, что обеспечивает надежное перекрытие выходного канала В и слив рабочей жидкости, минуя поврежденную гидролинию, через входную полость А в гидробак 1.

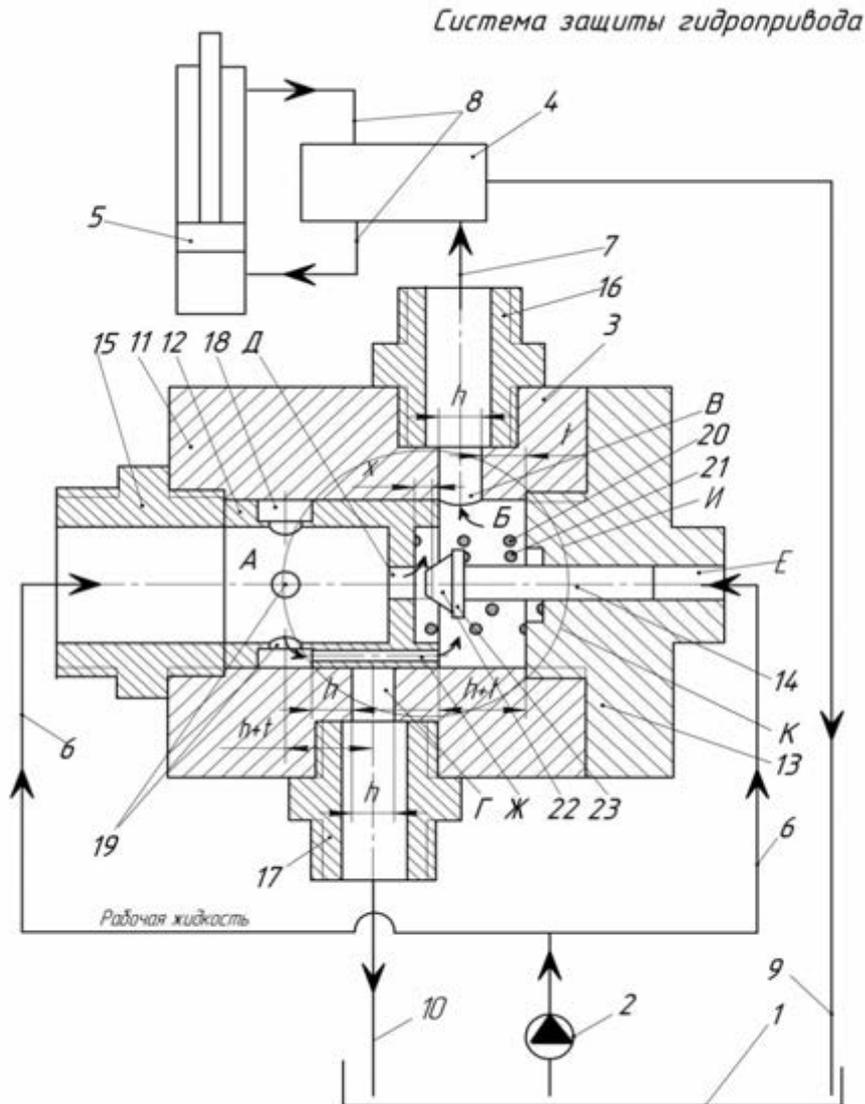


Рис. 10. Система защиты гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — запорное устройство; 4 — гидрораспределитель; 5 — гидродвигатель; 6 — цельнометаллический рукав высокого давления; 7, 8 — гибкий рукав высокого давления; 9, 10 — сливная гидролиния; 11 — корпус; 12 — плунжер; 13 — упор; 14 — клапан; 15—17 — штуцер; 18 — проточка; 19 — радиальные отверстия; 20, 21 — пружина; 22 — конус клапана; 23 — буртик клапана

Таким образом, в сравнении с рассмотренными устройствами (рис. 1—9) дополнительный канал, выполненный в плунжере, позволит вытеснить рабочую жидкости из зоны «гидравлической подушки» на слив в гидробак, что повысит эффективность системы защиты гидропривода от несанкционированного выброса рабочей жидкости из гидросистемы, эксплуатационную надежность и экологическую безопасность использования гидропривода рабочих органов машин в строительстве при одновременном снижении материалоемкости устройства и себестоимости производства машин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменко В. Н.* Разработка систем защиты гидроприводов механизмов навесных тяговых и специальных транспортных машин : дисс... канд. техн. наук. Волгоград, 2000. С. 166.
2. *Фоменко Н. А.* Совершенствование эксплуатационных свойств гидравлических систем машинно-тракторных агрегатов : дисс... канд. техн. наук. Волгоград, 2002. Вып. 3. С. 115—117.
3. Повышение качества функционирования технологического оборудования : монография / О. В. Бурлаченко и др. Старый Оскол : ТНТ, 2010. 411 с.
4. *Фоменко Н. А., Тырнов Ю. А.* Исследование работоспособности рукавов гидросистемы машинно-тракторных агрегатов // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции — новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сб. науч. докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф., 24—25 сент. 2013 г. Тамбов : Першин Р. В., 2013. С. 146—149.
5. *Фоменко Н. А., Богданов В. И., Фоменко В. Н.* Трубопровод высокого давления : пат. № 2511926 Рос. Федерации.
6. Система защиты гидропривода : пат. № 1813937 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, С. В. Дубинский и др.
7. Система защиты гидропривода : пат. № 15763 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, В. И. Перельмитер и др.
8. Система защиты гидропривода : пат. № 2556835 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко и др.
9. Система защиты гидропривода : пат. № 2571240 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко и др.
10. Система защиты гидропривода : пат. № 2642914 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко и др.
11. Система защиты гидропривода : пат. № 2634996 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко и др.
12. Система защиты гидропривода : пат. № 2583195 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко и др.
13. Система защиты гидропривода : пат. № 2642719 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко и др.

© *Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М., 2019*

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М.* Повышение надежности гидропривода строительного-дорожных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 149—161.

*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

**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

**Nikolai A. Fomenko, Oleg V. Burlachenko, Yurii M. Fetisov**

*Volgograd State Technical University*

## **IMPROVING THE RELIABILITY OF THE HYDRAULIC DRIVE OF CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES**

In the construction industry widely used hydraulic machines and equipment, such as bulldozers, excavators, cranes, hoisting machines, lifts etc. with a volumetric hydraulic drives of the progressive movement, which in operation is exposed to alternating loads, causing the destruction of the high pressure hoses and unauthorized release into the atmosphere of the working fluid. Modern technical solutions do not fully eliminate this drawback. In this regard, the analysis of existing methods of protection of the hydraulic drive and the design of the protection device of hydraulic machines, which in an accident reliably covers the damaged hydraulic line of the hydraulic drive and eliminates the release of working fluid into the atmosphere.

**Key words:** hydraulic system, hydraulic drive protection system, shut-off device, plunger, valve, pressure hydraulic line, drain hydraulic line.

*For citation:*

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Fetisov Yu. M. [Improving the reliability of the hydraulic drive of construction and road 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], 2019, iss. 2, pp. 149—161.

*About authors:*

**Nikolai A. Fomenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

**Oleg V. Burlachenko** — 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

**Yurii M. Fetisov** — 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 69.331.438

**С. Л. Пушенко, Е. В. Углова, Е. В. Стасева, Е. И. Турянская, А. И. Стасев**

*Донской государственный технический университет*

### **АНАЛИЗ РИСКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ**

Рассмотрено состояние охраны труда в дорожном строительстве. Основными проблемами в развитии строительной отрасли являются вредные условия труда, случаи производственного травматизма и профессиональные заболевания работающих. В статье приведены результаты исследования условий труда в дорожном строительстве по материалам специальной оценки условий труда. Рассмотрены основные вредные производственные факторы. Проведен анализ распределения рабочих мест по классам условий труда и факторам трудового процесса на участке производства работ. Проведена оценка риска влияния условий труда в дорожном строительстве. Предложена система анализа результатов специальной оценки условий труда и оценки профессионального риска по классам условий труда и опасным и вредным производственным факторам. Разработаны карты условий труда.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** условия труда, вредные производственные факторы, специальная оценка условий труда, анализ риска, безопасность труда.

**Введение.** Строительная индустрия России — это одна из наиболее важных отраслей народного хозяйства, от состояния которой зависит экономическое благосостояние и уровень экономического развития страны. Строительная отрасль по праву считается одной из крупнейших отраслей страны и составляет порядка 8 % ВВП России, если считать с учетом сопутствующих видов деятельности. В сфере строительства занятость населения на 2018 г. составила 8,3 % доли от общего занятого населения в стране. Количество действующих организаций строительной отрасли с каждым годом растет. На начало 2018 г. в строительной отрасли число организаций составило более 240 тысяч<sup>1</sup> [1].

Имеются значительные данные по травматизму на предприятиях строительной индустрии России. По данным Росстата, более 50 % случаев травматизма произошли в основном по вине обслуживающего персонала, из-за нарушений технологического процесса и состояния условий труда [2, 3].

**Материалы и методы исследования.** Увеличение объемов строительного производства сопровождается и ростом применяемого высокомеханизированного и автоматизированного производства. Комплексная механизация строительства предполагает внедрения большого количества машин и механизмов. Больше всего мобильные колесные машины используются в дорожно-строительных организациях. Каждая дорожно-строительная организация имеет в своем составе машинный парк. Для строительства асфальтовых дорог формируются специальные комплексы, которые объединяют под общим названием «дорожно-строительные машины». Они представляют собой достаточно сложное техническое оборудование, которое характеризуется высокой

<sup>1</sup> Причины травматизма и травмоопасные факторы. URL: [http://ohrana-bgd.narod.ru/proizv\\_19.html](http://ohrana-bgd.narod.ru/proizv_19.html)

размерностью, динамичностью рабочих процессов, а также сложностью математических зависимостей [3, 4].

Основным видом производственной деятельности предприятий дорожной отрасли является строительство автомобильных дорог и ремонт дорожных покрытий. Каждое предприятие включает в себя несколько структурных подразделений. Общее количество рабочих составляет от 50 до 150 человек, из них 86 % списочного состава — мужчины, а 14 % — женщины. Основная возрастная категория 40—55 лет.

Анализ статистических данных свидетельствует о том, что выполнение работ в дорожной отрасли сопровождается производственным травматизмом и профессиональной заболеваемостью [5].

Оценка состояния охраны труда в дорожно-строительных организациях Ростовской области показала, что на уровень безопасности влияют такие факторы, как состояние организации работ по охране труда; нарушения технологического процесса; износ и эксплуатация неисправного оборудования; недостатки в обучении безопасным приемам и методам; неприменение работниками средств индивидуальной защиты.

Основные причины и случаи травматизма связаны с условиями труда и организацией работ на местах.

Распределение причин производственного травматизма в дорожной отрасли по основным группам следующее:

психофизиологические, включающие в себя состояние и отношение работника в процессе труда;

санитарно-гигиенические, отражающие условия труда на рабочем месте;

техничко-технологические — напрямую связаны с состоянием машин, техники, используемого оборудования;

организационные причины, отражающие недостатки в организации работ по охране труда на предприятии;

комплексные причины.

В общей структуре несчастных случаев большинство причин носят организационный характер. При этом организационные причины не являются прямыми источниками опасности, но способствуют возникновению случаев травматизма или же приводят к активизации причин технико-технологического характера, а также причин, связанных с условиями труда (санитарно-гигиенические) и влиянием «человеческого фактора» (психологические причины). Данные статистики свидетельствуют о том, что значительное количество случаев травмирования работников происходит по причинам неудовлетворительной организации рабочих мест, а также из-за нарушения трудовой, производственной и технологической дисциплины [1].

На проявление причин технико-технологического характера оказывают влияние состояние машин, механизмов, характер и несовершенство организации дорожных работ. При этом часть несчастных случаев происходит по нескольким причинам одновременно (комплексные причины), которые связаны между собой, и порой бывает довольно затруднительно выявить первопричину производственного травматизма. Проявление санитарно-гигиенических причин в случаях травматизма также имеет под собой основы организационного характера.

Приведенные выше группы причин очень тесно взаимосвязаны между собой. При этом условия труда (санитарно-гигиенические причины) имеют

одно из наиболее важных значений. Таким образом, актуальным является вопрос исследования условий труда работающих и поиск эффективных механизмов по управлению состоянием безопасности труда в дорожном строительстве.

**Результаты и обсуждение.** Условия труда дорожных рабочих в дорожно-ремонтно-строительных управлениях (ДРСУ) характеризуются наличием следующих вредных и опасных производственных факторов: различные пыли (АПФД); вредные вещества в воздухе рабочей зоны (химический фактор); шум; локальная вибрация; параметры микроклимата; тяжесть и напряженность условий труда<sup>2</sup> [6]. Анализ материалов специальной оценки условий труда в дорожных организациях показал, что рабочие места по наличию факторов распределились следующим образом: с химическим фактором — 63,6 % рабочих мест; шумовое воздействие — 57,9 %; параметры микроклимата — 100 %; тяжесть труда — 93,4 %; напряженность трудового процесса — 76,9 %.

По данным специальной оценки условий труда (СОУТ) установлено, что большинство рабочих мест отнесены к вредным, класса 3.1. и 3.2. Проведенный анализ показал, что распределение рабочих мест по классам условий труда (КУТ) следующее: ко 2 классу относится 47 % рабочих мест, к классу 3.1 — 25 %, к классу 3.2 относится 28 % рабочих мест. Все это говорит о подверженности работников влиянию условий труда, которые, по сути, являются факторами риска возникновения как профессиональных заболеваний, так и производственного травматизма<sup>3</sup> [7].

Выявление вредных и опасных условий труда предусматривает определение и учет опасности для здоровья работников, исходящей из характера трудовой деятельности. Необходимо учитывать ранее выявленные опасные и вредные факторы, как правило, в этом нам помогают данные специальной оценки условий труда [8, 9].

Оценка условий труда является одним из важных мероприятий по организации работы охраны труда. Результаты спецоценки являются основанием для установления требований и ограничений к работающим и разработки комплекса мер по изменению условий труда и повышению безопасности рабочих мест [10].

В дорожном строительстве рабочие места зачастую не являются стационарными и имеют передвижной характер с изменяющимися условиями труда. Это затрудняет работу по проведению оценки условий труда. Они перемещаются в пределах строящегося объекта, в случае с дорожной отраслью — с одного объекта на другой. Изменяющийся и передвижной характер работы, а также большое количество строительных объектов, применяемых технологий и методов производства работ в значительной мере затрудняют разработку мероприятий по обеспечению безопасных условий труда [11].

---

<sup>2</sup> Классификация условий труда / Экспертно-аналитический центр «Технологии труда». URL: [https://eactt.ru/426-fz\\_o\\_specialnoy\\_ocenke\\_usloviy\\_truda/statya\\_14\\_klassifikaciya\\_usloviy\\_truda/](https://eactt.ru/426-fz_o_specialnoy_ocenke_usloviy_truda/statya_14_klassifikaciya_usloviy_truda/)

<sup>3</sup> Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки : Р 2.2.1766-03 / НИИ медицины труда РАМН г. Москва ; Главный государственный санитарный врач РФ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901902053>

После проведения специальной оценки условий труда с полученной информацией, как правило, не работают, ведь чаще всего это огромные тома документации, которые мало кто захочет носить с собой по строительным участкам. Хотя эти данные порой единственный источник информации о наличии и характеристиках опасных и вредных производственных факторов; о том, где, на каких рабочих местах в большей степени они проявляются. А это, в свою очередь, является основанием для разработки мероприятий по профилактике и предупреждению как травматизма, так и заболеваний на производстве [12].

В исследовании условий труда были также использованы данные проекта производства работ на ремонт автодороги, распределение дорожной техники и рабочих по основным этапам технологического процесса, которые включают: очистку существующего покрытия от пыли и грязи, подгрунтовку; укладку асфальтобетонного покрытия; уплотнение выравнивающего слоя; очистку, подгрунтовку, распределение черного щебня; уплотнение черного щебня. Так, например, для первого этапа — очистки существующего покрытия от пыли и грязи, подгрунтовки необходимы поливомоечная машина и автогудронатор ДС-396, а также в этапе участвуют водители поливомоечной машины, машинист автогудронатора и дорожные рабочие.

На основании данных специальной оценки условий труда, по каждому этапу и рабочему месту (профессии) определены соответствующие вредные производственные факторы и классы условий труда. Все данные систематизированы и сведены в общую таблицу, так называемую «Карту условий труда на участке производства работ» (рис. 1) [7]. В Карте приводится название, краткое описание каждого этапа технологического процесса, перечень рабочих мест и соответствующих ОВПФ с указанием класса условий труда.

Разработанная карта условий труда показывает наглядно, какая техника, рабочие профессии задействованы на этапах технологического процесса, а также распределение вредных факторов условий труда по классам. Так, на участке ремонта автодороги основными вредными факторами являются: наличие выбросов вредных веществ (химический фактор), шум и вибрация. Практически на всех рабочих местах условия труда отнесены к вредным — класса 3.1 и 3.2 (рис. 1).

По карте можно определить, какое рабочее место, а также какой фактор имеет наиболее высокое значение по классам. Таким образом, условия труда дорожных рабочих, асфальтобетонщиков и водителей отнесены к наиболее вредным, класса 3.2. А самые опасные и вредные производственные факторы — шум, тяжесть и наличие вредных веществ.

Удобным в Карте является цветовыделение соответствующих факторов по классам условий труда. Так, например, голубой цвет соответствует классу 2.0 (безопасные условия труда), желтый — класс 3.1 (первая степень опасности), оранжевый — 3.2 (вторая степень опасности), малиновый — 3.3 (третья степень опасности), красный — 3.4 (четвертая степень опасности). Карта условий труда и использование цвета позволяет обеспечить руководителя производства работ наиболее полной информацией о наличии вредных факторов условий труда по каждому этапу технологического процесса и участвующих работниках, которые имеют наиболее высокую степень риска воздействия вредных факторов в случае отсутствия или неприменения мероприятий по защите.

Этапы	Машины	Люди (профессии)		ОВПФ								
		Профессии	Кол-во чел.	Химический	Шум	Вибрация общ.	Вибрация лок.	Микроклимат	Световая среда	Тяжесть труда	Напряженность труда	Общий класс
1 этап — Очистка существующего покрытия от пыли и грязи. Подгрунтовка.	Поливомоечная машина	Водители поливовой машины	2	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1	3.2
	Автогудронатор ДС-396	Машинист автогудронатора	1	3.1	3.1	2	2	2	2	2	2	3.1
		Дорожные рабочие	4	3.1	3.1	—	3.1	3.1	—	3.2	2	3.2
2 этап — Укладка асфальтобетонного покрытия	Асфальтоукладчик ДС-126А	Машинист асфальтоукладчика	2	3.1	3.1	2	2	2	2	2	2	3.1
	Автосамосвал	Водители автосамосвалов	4	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1	3.1
		Дорожные рабочие	12	3.1	3.1	—	3.1	3.1	—	3.2	2	3.2
		Асфальтобетонщики	4	2	3.1	2	—	3.1	—	3.2	2	3.2
3 этап — Уплотнение выравнивающего слоя	Каток ДУ-50	Машинист катка	7	3.1	3.1	2	2	2	2	2	2	3.1
	Каток ДУ-50м											
	Каток РД-103											
	Каток СД-802											
4 этап — Очистка, подгрунтовка, распределение черного щебня	Автосамосвал	Водители автосамосвалов	4	2	3.1	2	2	2	2	2	3.1	3.1
	Щебнераспределитель ЭД-704	Машинист автогудронатора	2	3.1	3.1	2	2	2	2	2	2	3.1
	Тягач Т-150	Дорожные рабочие	5	3.1	3.1	—	3.1	3.1	—	3.2	2	3.2
	Автогудронатор КДМ											
5 этап — Уплотнение черного щебня	Каток РД-103	Машинист катка	4	3.1	3.1	2	2	2	2	2	2	3.1
	Каток ДУ-47	Дорожные рабочие	3	3.1	3.1		3.1	3.1		3.2	2	3.2

Рис. 1. Карта условий труда рабочих для технологического процесса — ремонт автомобильной дороги

Все это будет способствовать повышению степени контроля за соблюдением требований охраны труда при производстве работ и формированию системного подхода при разработке мероприятий по профилактике и предупреждению влияния условий труда на работающих при строительстве автодорог.

Далее, используя данные спецоценки, проводим расчет риска. Риски определяются как для каждого рабочего места, так и для каждого этапа технологического процесса.

Расчет рисков по усовершенствованной расчетной модели с учетом данных оценки условий труда проводим с учетом шкалы балльных оценок условий труда для каждого рабочего места и участка в целом.

Расчет риска по классам условий труда для каждого рабочего места производится по формуле [4, 7]:

$$R = X_{\max} + \sum B_i \frac{8 - X_{\max}}{8(n-1)}, \quad (1)$$

где  $X_{\max}$  — максимальный балл оценки профессионального риска;  $\sum B_i$  — весовой коэффициент для фактора в результатах СОУТ;  $n$  — количество ОВПФ.

1. Риск по КУТ для водителя поливовой машины:

$$R = 3 + (0,125 \cdot 2 + 0,125 \cdot 3 + 0,125 \cdot 2 + 0,125 \cdot 3)(8 - 3) / (8 \cdot (8 - 1)) = 3,20.$$

2. Риск по КУТ для машиниста автогудронатора:

$$R = 3 + (0,125 \cdot 3 + 0,125 \cdot 3 + 0,125 \cdot 2 + 0,125 \cdot 2)(8 - 3) / (8 \cdot (8 - 1)) = 3,20.$$

3. Риск по КУТ для дорожного рабочего:

$$R = 4 + (0,167 \cdot 3 + 0,167 \cdot 3 + 0,167 \cdot 3 + 0,167 \cdot 3 + 0,167 \cdot 4 + 0,167 \cdot 2)(8 - 4) / (8 \cdot (6 - 1)) = 4,30.$$

Установлено, что риск в первых двух случаях относится к среднему риску, и в этом случае нужно разработать мероприятия по снижению риска влияния опасных и вредных факторов, а в третьем случае это уже высокий риск, для которого необходима разработка неотложных мероприятий по его снижению. Можно сделать вывод, что самым высоким уровнем риска принадлежит профессии дорожного рабочего.

Определяем риск по КУТ для 1-го этапа технологического процесса:

$$1) R_{\text{эт. 1}} = (3,20 + 3,20 + 4,30) / 3 = 3,57;$$

полученная величина относится к среднему (существенному) риску, при этом необходимо разработать мероприятия по снижению риска влияния опасных и вредных производственных факторов;

$$2) R_{\text{эт. 2}} = (3,20 + 3,20 + 4,30 + 4,27) / 4 = 3,74;$$

$$3) R_{\text{эт. 3}} = 3,20 / 1 = 3,20;$$

$$4) R_{\text{эт. 4}} = (3,20 + 3,20 + 4,30) / 3 = 3,57;$$

$$5) R_{\text{эт. 5}} = (3,20 + 4,30) / 2 = 3,75;$$

Самый высокий уровень риска имеет 5-й этап технологического процесса — уплотнение черного щебня. Самый высокий риск имеет фактор — тяжесть труда. Итак, подведем итоги расчетов. Самый высокий риск имеет профессия дорожного рабочего, наиболее высокие показатели — по химическому фактору, шуму и тяжести труда.

Самый высокий уровень риска влияния ОВПФ определен по химическому фактору, шуму и тяжести труда. Самым опасным этапом технологического процесса является 5-й этап — уплотнение черного щебня.

Мобильный характер рабочих мест, а также значительное разнообразие строительных объектов, применяемых технологий и методов производства работ значительно затрудняют обеспечение проведения мер безопасности.

Под оценкой рисков подразумевается выявление возникающих в процессе труда опасностей, определение их величины и значимости возникающих рисков. Оценка рисков является наиболее эффективным предупреждающим мероприятием [8—12].

### **Полученные результаты исследований и выводы**

1. Анализ данных статистики и материалов СОУТ организаций дорожного комплекса показал, что в процессе труда дорожные рабочие подвергаются воздействию широкого спектра вредных производственных факторов, что вызывает риск возникновения профзаболеваний и увеличение числа несчастных случаев.

2. На основе проведенного исследования, анализа состояния условий труда работников дорожного строительства по результатам специальной оценки условий труда рабочих мест (СОУТ) и применения методов анализа профессиональных рисков выявлены особенности условий труда дорожных рабочих, которые оказываются подвержены влиянию вредных производственных факторов и возникновению случаев травматизма.

3. Предложен механизм разработки мероприятий по улучшению условий и охраны труда работников дорожного строительства на основе системы анализа результатов СОУТ и оценки риска.

4. Обобщение результатов СОУТ в сводные таблицы распределения количества рабочих мест с опасными и вредными условиями труда (Карта условий труда) и оценка рисков позволяют оптимизировать организацию работы по охране труда в части профилактики производственного травматизма и профзаболеваний. Это позволит непосредственно руководителю работ (мастеру, начальнику участка и т. п.) владеть информацией о наличии вредных факторов условий труда и производственного процесса, где данные факторы имеют преобладающее значение и проявлены в большей степени. С помощью предложенных карт условий труда можно будет надлежащим образом контролировать соблюдение требований охраны труда на тех участках производства работ, которые имеют наиболее высокую степень риска.

Все это способствует определению приоритетных направлений при разработке и внедрении профилактических и предупреждающих мероприятий по защите от вредных производственных факторов по этапам технологического процесса, что способствует улучшению условий труда и снижению влияния факторов травматизма на работающих при производстве работ на объектах строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Филатова С. В.* Проблемы травматизма и охраны труда в строительстве // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии : материалы III Международной науч.-практ. конф. с научной школой для молодежи. ТвТГУ. 2017. С. 91—94.
2. *Стасева Е. В., Теплякова Н. А.* Оценка состояния безопасности и охраны труда на примере строительной организации // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение : материалы Международной науч.-практ. конф. 2015. С. 445—451.
3. *Квиткина М. В., Стасева Е. В.* Исследование условий труда на рабочих местах участка укладки асфальтобетона по материалам СОУТ // Научное обозрение. 2017. № 10. С. 129—131.
4. *Стасева Е. В., Пушенко С. Л.* Материалы специальной оценки условий труда как основа для профилактической работы по защите человека на производстве // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 110—117.
5. *Буланова А. В.* Оценка условий труда в организации строительного комплекса по материалам СОУТ и разработка мероприятий по их улучшению // Научная мысль. 2017. № 6(6). С. 23—28.
6. *Пушенко С. Л.* Разработка методики изучения эффективности реализации системы управления и организации охраны труда в организациях строительного комплекса // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2011. Вып. 3(17). URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=592>
7. *Стасева Е. В.* Совершенствование и повышение эффективности организации охраны труда в строительстве на основе системы управления рисками : дисс... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. 196 с.
8. *Квиткина М. В.* Исследование подходов к оценке и управлению рисками в организации охраны труда // Молодой исследователь Дона. 2017. № 5(8). С. 105—108.
9. *Стасева Е. В., Трофимов И. А.* Оценка профессиональных рисков // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии : материалы Международной науч.-практ. конф. с научной школой для молодежи. ТвТГУ. 2016. С. 87—89.
10. *Стасева Е. В., Сазонова А. М., Цыгульский И. О.* Профилактика травматизма на основе комплексной оценки профессиональных рисков строителей // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2(43). С. 11—13.
11. *Sazonova A., Kopytenkova O., Staseva E.* Risk of pathologies when exposed to fine dust in the construction industry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction — The Formation of Living Environment. 2018. С. 32—39.
12. *Вельченко А. А., Квиткина М. В.* Комплексный подход к оценке состояния охраны труда на основе интегральных показателей // Труды РГУПС. 2018. № 2. С. 26—28.

© Пушенко С. Л., Углова Е. В., Стасева Е. В., Турянская Е. И., Стасев А. И., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Анализ риска влияния условий и безопасности труда в дорожном строительстве на основе материалов специальной оценки / С. Л. Пушенко, Е. В. Углова, Е. В. Стасева, Е. И. Турянская, А. И. Стасев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 162—170.

Об авторах:

**Пушенко Сергей Леонардович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности технологических процессов и производств, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, [psl@rgsu.ru](mailto:psl@rgsu.ru)

**Углова Евгения Владимировна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автомобильных дорог, Донской государственный технический университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, [Uglova.ev@yandex.ru](mailto:Uglova.ev@yandex.ru)

**Стасева Елена Владимировна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, [elena\\_staseva@mail.ru](mailto:elena_staseva@mail.ru)

**Турьянская Елизавета Игоревна** — магистрант, Донской государственной технической университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, [staseva\\_elizaveta@mail.ru](mailto:staseva_elizaveta@mail.ru)

**Стасев Андрей Игоревич** — магистрант, Донской государственной технической университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, [stasevai@mail.ru](mailto:stasevai@mail.ru)

**Sergei L. Pushenko, Evgeniya V. Uglova, Elena V. Staseva, Elizaveta I. Turyanskaya, Andrej I. Stasev**

*Don State Technical University*

## **RISK ANALYSIS OF INFLUENCE OF CONDITIONS AND SAFETY OF WORK IN ROAD CONSTRUCTION ON THE BASIS OF MATERIALS OF SPECIAL ASSESSMENT**

The condition of labor protection in road construction is considered. The main problems in development of the construction industry are harmful working conditions, cases of occupational injuries and occupational diseases working. In article results of a research of working conditions are given in road construction on materials of special assessment of working conditions. The major harmful production factors are considered. The analysis of distribution of jobs on classes of working conditions and factors of labor process on the site of works is carried out. The assessment of risk of influence of working conditions in road construction is carried out. The system of the analysis of results of special assessment of working conditions and assessment of professional risk on classes of working conditions is offered both dangerous and harmful production factors. Cards of working conditions are developed.

**Key words:** working conditions, harmful production factors, special assessment of working conditions, risk analysis, safety of work.

*For citation:*

Pushenko S. L., Uglova E. V., Staseva E. V., Turyanskaya E. I., Stasev A. I. [Risk analysis of influence of conditions and safety of work in road construction on the basis of materials of special assessment]. *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], 2019, iss. 2, pp. 162—170.

*About authors:*

**Sergei L. Pushenko** — 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@rqsu.ru](mailto:psl@rqsu.ru)

**Evgeniya V. Uglova** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Highways Department, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, [Uglova.ev@yandex.ru](mailto:Uglova.ev@yandex.ru)

**Elena V. Staseva** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, 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](mailto:elena_staseva@mail.ru)

**Elizaveta I. Turyanskaya** — Master's Degree student, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, [staseva\\_elizaveta@mail.ru](mailto:staseva_elizaveta@mail.ru)

**Andrej I. Stasev** — Master's Degree student, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, [staseva\\_elizaveta@mail.ru](mailto:staseva_elizaveta@mail.ru)

УДК 628.511.12:634.21(470.45+57)

**И. Ю. Глинянова**

**Волгоградский государственный технический университет**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ С ПОЗИЦИИ ФИТОМОНИТОРИНГА**

Исследуется и анализируется мелкодисперсная пыль на листьях абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*) в городской агломерации (Среднеахтубинский район Волгоградской области (экспериментальная площадь) и в условно чистой зоне в СНТ «Орошенец» на берегу Варваровского водохранилища (контрольная площадь). Проведенное исследование позволяет выявить на некоторых территориях малоэтажной застройки в Среднеахтубинском районе Волгоградской области пылевидные частицы:  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , значения которых по количеству ( $N_{дч}$ , %) и по своей массе ( $D_{дч}$ , %) превосходят значения из условно чистой зоны СНТ «Орошенец» (контрольная площадь) в несколько раз. Это свидетельствует о том, что изучаемая территория городской агломерации подвергается техногенной нагрузке. Выявлены зоны экологического риска и места безопасные для проживания.

**Ключевые слова:** мелкодисперсная пыль,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , дисперсность, абрикос обыкновенный (*Prúnus armeniáса*), экологический риск, пылевидные частицы, экологическая ситуация, городская агломерация, фитомониторинг.

Анализ работ по фитомониторингу отечественных и зарубежных авторов позволяет сделать вывод о том, что листья растений являются индикаторами и пассивными биомониторами мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе городских территорий. Адсорбируя ежедневно большое количество пылевидных частиц, витающих в атмосферном воздухе, листовые пластинки растений отражают реальную экологическую ситуацию в исследуемом районе, поскольку обладают свойством накапливать пыль своей поверхностью в течение определенного промежутка времени. Исследование дисперсного состава пыли на листьях растений (на примере листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*)) может дать объективную картину экологической ситуации в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области. Гипотезой данного научного исследования является следующее: исследование дисперсного состава на листьях деревьев (на примере листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*)) селитебной зоны в Среднеахтубинском районе Волгоградской области) позволит выявить территории экологического риска и безопасные места для проживания.

Целью данной работы является: исследование  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  на листьях абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*), произрастающих в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области.

Задачи исследования: 1) сбор листьев с абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*) в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области (экспериментальная площадь) в выбранных точках отбора проб и в условно чистой зоне (контрольная площадь) в СНТ «Орошенец» на берегу Варваровского водохранилища; 2) извлечение пылевидных частиц с листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*) и исследование дисперсного состава пыли; 3) сравнительный анализ дисперсного состава пылевидных частиц, собран-

ных с листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáca*) в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области (экспериментальная площадь) с дисперсным составом пылевидных частиц в условно чистой зоне (контрольная площадь); 5) выводы и рекомендации по результатам исследования.

Обзор литературных источников о мониторинге пылевидных частиц на листьях растений позволил выявить, что российские ученые изучают пылевидные частицы в основном без анализа их фракционного состава.

Так, О. В. Чернышенко исследовала листья городских деревьев и кустарников (*Populus balsamifera*; *Pópulus nígra*; *Symphoricarpos albus*; *Sambúcus nígra*) по интенсивности накопления на них пыли, однако дисперсность пыли автором не рассматривалась [1]. Е. А. Агеева, М. Н. Казанцева производили оценку пылеудерживающей способности листьев деревьев и кустарников (*Sorbus sibirica*, *Cotoneaster melanocarpu* и др.) в г. Тюмени. Анализ полученных данных показал, что среднее количество пыли, осаждаемой листьями городских растений, существенно выше, чем в зеленой зоне города. Со стороны авторов дисперсность пыли не рассматривалась [2]. Л. И. Аткина, М. В. Игнатова изучали количество пыли, задержанной листьями на деревьях *Malus baccata* L., *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Crataegus sanguinea* L. в городских посадках г. Екатеринбурга, растущих вдоль магистрали, тем не менее диаметры пылевидных частиц ими не изучались также, на фракции пыль не разбивалась [3].

Что касается зарубежных ученых, то в этом направлении имеется достаточно большое количество работ, посвященных исследованию мелкодисперсной пыли на листьях растений в городской среде.

Так, А. Przybysz, А. Saebo, Н. Hanslin [etc.] проводили мониторинг пылевидных частиц и изучали накопление твердых частиц и микроэлементов на листовых пластинках растений вечнозеленых видов (*Taxus baccata* L., *Hedera helix* L. и *Pinus sylvestris* L.) в городской среде и в сельской местности с учетом количества осадков и времени. Наибольшее накопление загрязняющих веществ в воздухе авторы обнаружили в листьях растений, защищенных от дождя; в местах, подверженных загрязнению, связанному с дорожным движением, а наименьшее накопление пыли было обнаружено в листьях растений сельской местности. Среди проанализированных видов наибольшее количество осажденных мелкодисперсных частиц и микроэлементов было у *P. sylvestris*. Эти результаты показали, что при оценке общего влияния растительности на восстановление загрязнителей необходимо учитывать как динамику осадения, так и вымывания листьев дождями в течение сезона [4].

Р. Popek, А. Lukowski, С. Bates [etc.] осуществили ряд исследований в польских городах по изучению фракций мелкодисперсной пыли, тяжелых металлов и ПАУ на листьях растений (*Tilia cordata* Mill) [5].

С. Sgrigna, А. Saebo, S. Gawronski [etc.] изучали мелкодисперсную пыль разных фракций: от 0,2 до 2,5 мкм и от 2,5 до 10 мкм на листьях растения — *Quercus ilex*, в т. ч. и осаждение  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  в районах г. Терни (Италия) [6].

Y. Song, В. Maher, F. Li [etc.] проводили исследования мелкодисперсной пыли на листьях древесных вечнозеленых растений в Пекине (Китай), изучая их морфологию, размер, элементный состав, в т. ч. их массовую концентрацию [7].

J. Shi, G. Zhang, Н. An [etc.] исследовали элементный состав, плотность и размерные доли мелкодисперсных частиц на поверхностях листьев город-

ских зеленых растений (*Salix matsudana*, *Euonymus japonicus*, *Magnolia denu-date*, *Sophora japonica* и др.) от путепровода Сичжимэнь и Олимпийского лесопарка в Пекине (Китай) [8].

L. Mo, Z. Ma, Y. Xu [etc.] оценивали отложения пыли на листьях и в восковом слое различных видов городских деревьев и кустарников в Пекине (Китай). Результаты их исследования могут помочь отобрать виды для городских зеленых зон, цель которых состоит в улавливании загрязнителей воздуха и смягчении неблагоприятного воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека [9].

Между тем некоторые исследователи пыли на листьях городских растений подчеркивали факт того, что данный вид мониторинга может использоваться как альтернатива традиционному мониторингу загрязнения воздуха. Так, M. Zampieri, J. Sarkis, Pestana, C. Rafael [etc.], проведя исследование пылевидных частиц на листьях растений в городской среде, сделали вывод о том, что, например, растение *T. granulosa* может использоваться в качестве пассивного биомонитора и ценной альтернативы мониторингу загрязнения воздуха и пространственно-временной оценки мелкодисперсной пыли. Авторы изучали мелкодисперсную пыль в диапазоне < 2,5 и 2,5...10 мкм и > 10 мкм на листьях растений, произрастающих в г. Сан-Паулу и Кубата (Бразилия) [10].

В данном исследовании организация эксперимента осуществлялась в жилой зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области (экспериментальная площадь) и в условно чистой зоне в СНТ «Орошенец» (контрольная площадь).

Материалом исследования являлись листья абрикосовых деревьев (*Prúnus armeníaca*). Это массовый вид, встречающийся в Волгограде и Волгоградской области с большой частотой. Сбор материала для исследования проводился в конце июня 2018 г. после завершения интенсивного роста листьев. Образцы листьев отбирались на высоте 1,5...2 м кроны (высота слоя воздуха, вдыхаемого человеком). Листья были взяты в 6 точках на различном расстоянии от промышленной зоны: от 150 м до 800 м, в разных сторонах света, с разной ветровой нагрузкой. При сборе листьев обращалось внимание на состояние листовой пластины: она не должна быть подвержена изменениям (следы деятельности насекомых или наличие бактериальных некрозов) или другим повреждениям. В каждой точке было сделано 10 проб (100 листьев). Одновременно отбирались листья абрикосового дерева (*Prúnus armeníaca*) в условно чистой зоне в СНТ «Орошенец» на берегу Варваровского водохранилища. Пыль с листьев одной пробы смывалась в химический стакан с дистиллированной водой. Полученная суспензия отфильтровывалась через середину фильтра АФА-ВП и высушивалась при температуре не более 30...40 °С (естественная температура атмосферного воздуха летом в г. Волгограде и Волгоградской области). Высушенный фильтрат (пыль с листьев) размещали равномерно на предметное стекло, которое устанавливалось на оптический микроскоп. Каждая проба содержала смыв пыли с 10 листьев одного вида растения — абрикосового дерева (*Prúnus armeníaca*).

Исследование дисперсного состава пыли производилось с помощью компьютерной программы «SPOTEXPLORER», позволяющей осуществлять цифровую обработку черно-белых изображений в формате Windows Bitmap

(\*.bmp). По объему пылевидной частицы рассчитывался ее эквивалентный диаметр и определялось количество частиц различного размера. По окончании сканирования фотографии определялся дисперсный состав генеральной совокупности пыли. Результаты измерений оформляли в виде таблиц, на основе которых строились дифференциальные и интегральные кривые распределения массы частиц по размерам, откладывая по оси абсцисс значения (диаметр частиц), а по оси ординат — плотность распределения частиц соответствующего размера в процентах. Таким образом, определялся не только дисперсный состав генеральной совокупности пыли, но и ее мелкодисперсной составляющей по ГОСТ Р 56929—2016<sup>1</sup>.

В результате проведенных исследований на листовых пластинах абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*) в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области была обнаружена мелкодисперсная пыль. Пылевидные частицы на листьях абрикоса обыкновенного (*Prúnus armeniáса*) изучались с помощью растрового сканирующего микроскопа Versa 3D. В качестве примера иллюстрируется мелкодисперсная пыль и ее размерность на листовой пластинке абрикоса обыкновенного (*Prúnus armeniáса*), отобранной в исследуемой точке по ул. Кавказской в Среднеахтубинском районе Волгоградской области (экспериментальная площадь) (рис. 1).

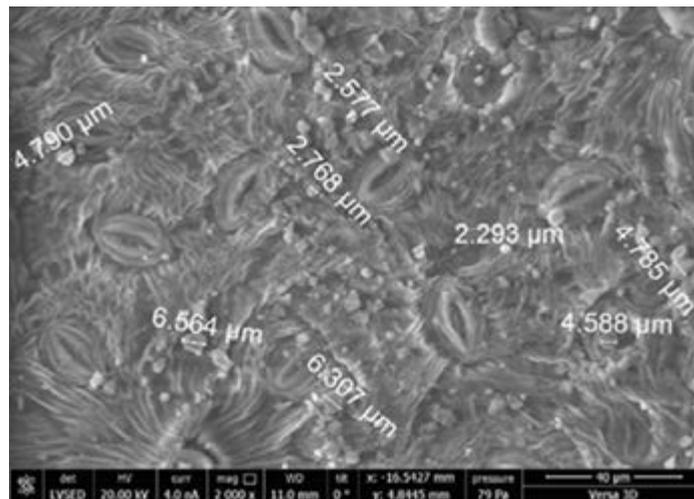


Рис. 1. Фото пылевидных частиц с обозначенными размерами на листовой пластинке абрикоса обыкновенного (*Prúnus armeniáса*) по ул. Кавказской в Среднеахтубинском районе Волгоградской области

В результате эксперимента в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области были выявлены территории экологического риска. Это точки отбора проб по ул. Больничной (рис. 2) и по ул. Кавказской (рис. 3). На данных территориях размещены объекты социального назначе-

<sup>1</sup> ГОСТ Р 56929—2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследования фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества воздуха. М. : Стандартинформ. 2016. 15 с.

ния: больница, детский сад. В этих точках зафиксировано больше всего мелкодисперсной пыли ( $PM_{10}$ ) как по их количеству, так и по массе.

На рисунках 2, 3 отображается распределение пылевидных частиц по их диаметру по 10 интегральным кривым, построенным в вероятностно-логарифмической сетке на основе 10 проб пылевидных частиц, отобранных с листовых пластинок абрикосовых деревьев (*Prúnus armeníasa*) в каждой точке, в которых содержалось не меньше 1000 шт. пылевидных частиц, изученных на оптическом микроскопе. По оси абсцисс ( $x$ ) откладывается диаметр частиц ( $d_c$ , мкм), по оси ординат ( $y$ ) — массовая доля частиц ( $D(d_c)$ , %).

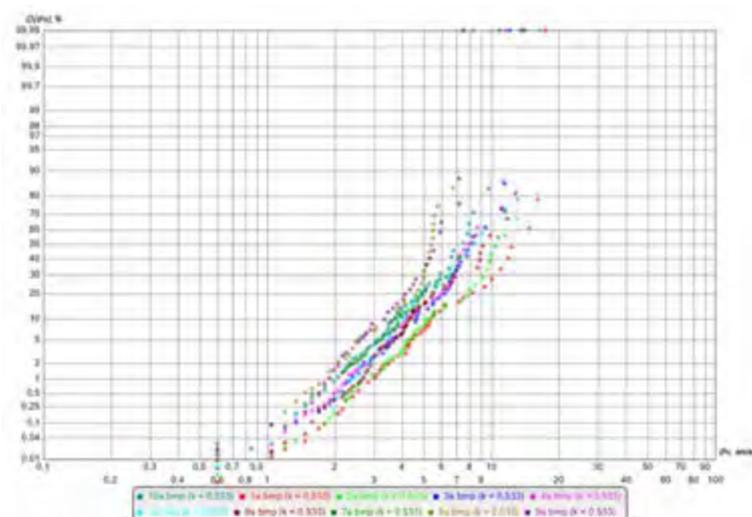


Рис. 2. Интегральные кривые распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для пыли, отобранной в жилой зоне по ул. Больничной (Среднеахтубинский район, Волгоградская область)

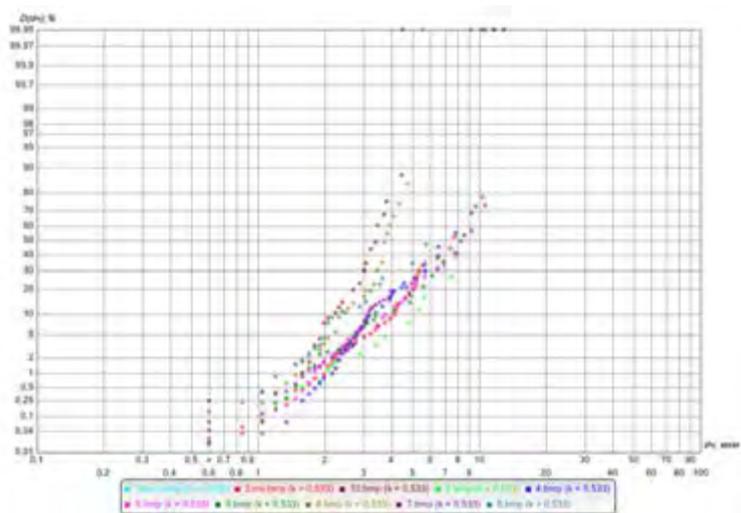
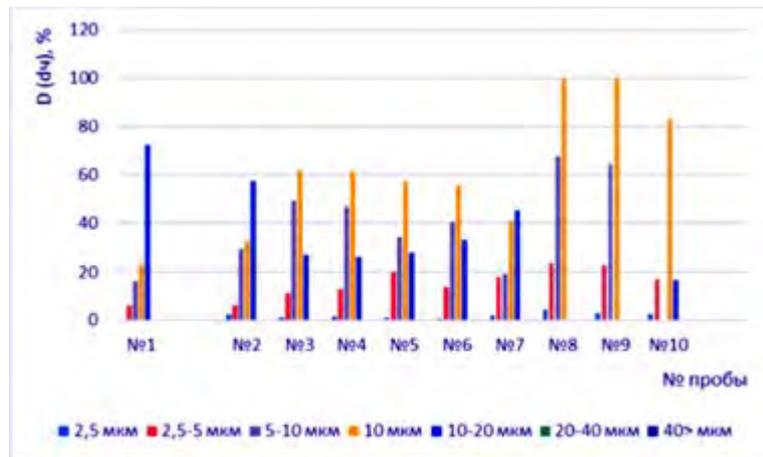
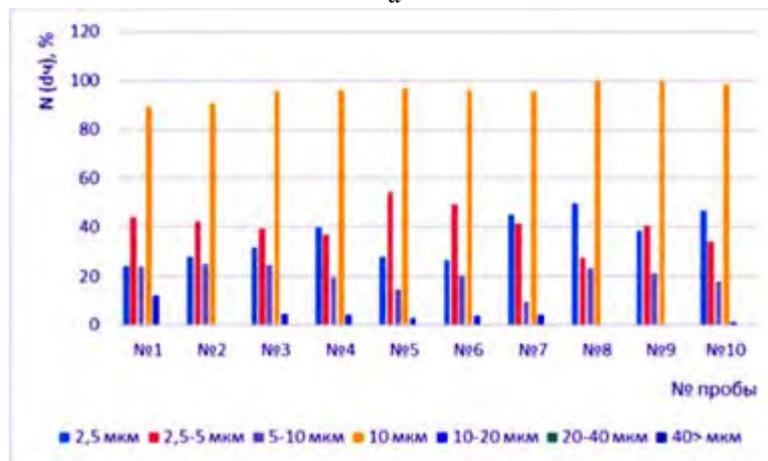


Рис. 3. Интегральные кривые распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для пыли, отобранной в жилой зоне по ул. Кавказской (Среднеахтубинский район, Волгоградская область)

Точка отбора проб по ул. Больничной (Среднеахтубинский район Волгоградской области) — это западная точка селитебной зоны, расположенная ориентировочно в 660 м от промышленной зоны. На рисунке 4 представлены диаграммы распределения массы (рис. 4, а) и количества частиц (рис. 4, б) по их эквивалентным диаметрам (%) для пылевидных частиц, отобранных с листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*) по ул. Больничной.



а



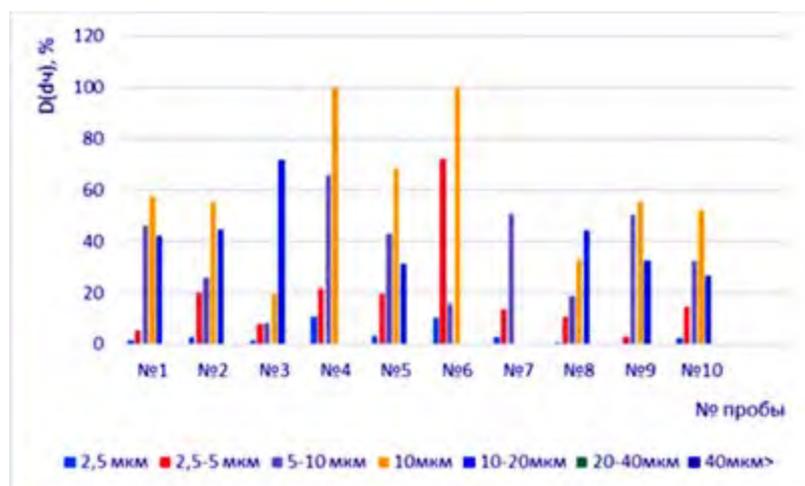
б

Рис. 4. Распределение массы и количества частиц по эквивалентным диаметрам (%) для пыли, отобранной в жилом квартале по ул. Больничной (Среднеахтубинский район Волгоградской области), точка № 1: а — диаграмма распределения массы частиц по диаметрам ( $D(d_{ч}), \%$ ); б — диаграмма распределения количества частиц по диаметрам ( $N(d_{ч}), \%$ )

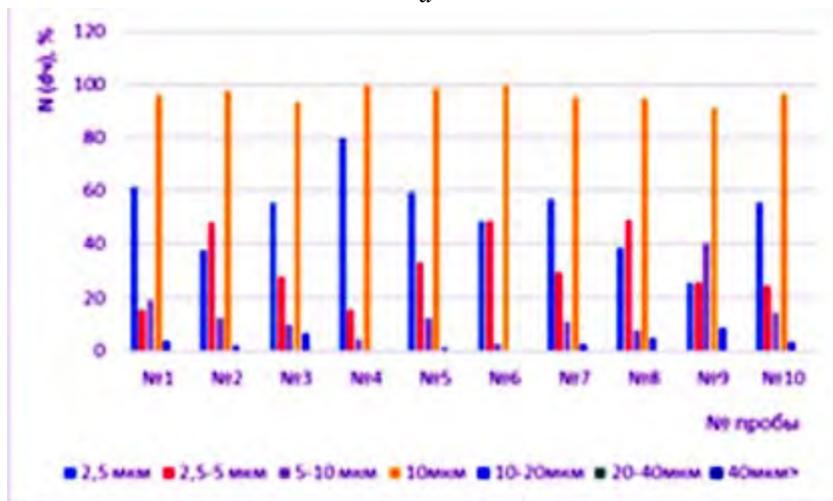
Из рисунка 4 можно сделать вывод о том, что во всех пробах лидируют пылевидные частицы  $PM_{10}$  как по числу, так и по массе, при этом по количественному содержанию ( $N(d_{ч}), \%$ )  $PM_{10}$  составляет больше 80 %, это в 4,8 раза больше по сравнению с условно чистой зоной (контрольная площадь); по распределению массы частиц ( $D(d_{ч}), \%$ ) — в 3,8 раз больше по сравнению с условно чистой зоной (контрольная площадь). Данные по  $PM_{2,5}$ : по количественному содержанию ( $N(d_{ч}), \%$ ) — в 3 раза превышают условно чистую зону

(контрольная площадь), по распределению массы частиц по диаметрам ( $D(d_p)$ , %) — все значения находятся ниже условной нормы.

Точка отбора проб по ул. Кавказской (Среднеахтубинский район Волгоградской области) представляет собой территорию детского сада. Данная точка расположена на юге исследуемой экспериментальной территории, на расстоянии 800 м от промышленной зоны. На рисунке 5 представлены диаграммы распределения массы (рис. 5, а) и количества частиц (рис. 5, б) по их эквивалентным диаметрам (%) для пылевидных частиц, отобранных с листьев абрикосовых деревьев (*Prúnus armeniáса*) по ул. Кавказской.



а



б

Рис. 5. Распределение массы и количества частиц по эквивалентным диаметрам (%) для пыли, отобранной в жилом квартале по ул. Кавказской (Среднеахтубинский район Волгоградской области): а — диаграмма распределения массы частиц по диаметрам ( $D(d_p)$ , %); б — диаграмма распределения количества частиц по диаметрам ( $N(d_p)$ , %)

Как видно из рис. 5, в исследуемой точке по ул. Кавказской по количеству частиц ( $N(d_p)$ , %) преобладают частицы  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , что в 5,3 раза больше

значений в условно чистой зоне (контрольная площадь). По массе частиц ( $D(d_p)$ , %) также лидируют частицы  $PM_{10}$  — это в 2,8 раза больше значений по сравнению с условно чистой зоной (контрольная площадь). Пылевидных частиц размером  $> 10...20$  мкм и частиц размером  $10...20$  мкм диагностировано в общей сумме от 30 до 70 %, но не выше значений по сравнению с условно-чистой зоной (контрольная площадь).

Менее безопасной территорией в селитебной зоне является территория школы-интерната по ул. Воровского Среднеахтубинского района Волгоградской области, на ней зафиксированы более тяжелые фракции размером  $10...20$  мкм и  $20...40$  мкм, хотя по количеству в лидерах —  $PM_{10}$ . Эта точка расположена на юго-востоке на расстоянии более 600 м от промзоны.

На рисунке 6 представлены интегральные кривые распределения массы пылевидных частиц по эквивалентным диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для пыли, отобранной в селитебной зоне по ул. Воровского (Среднеахтубинский район Волгоградской области).

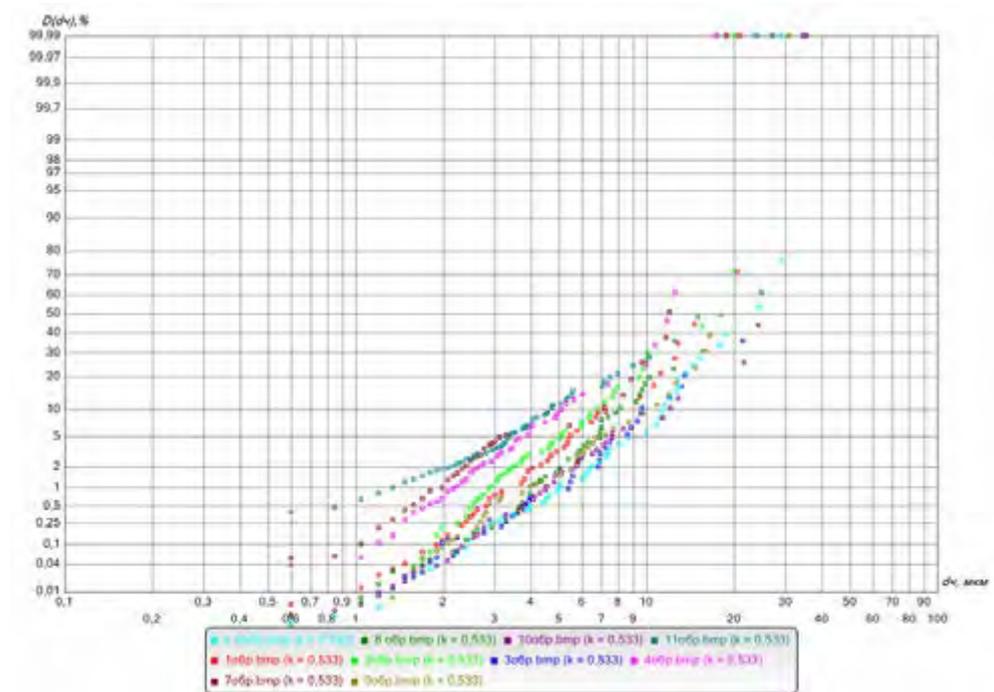
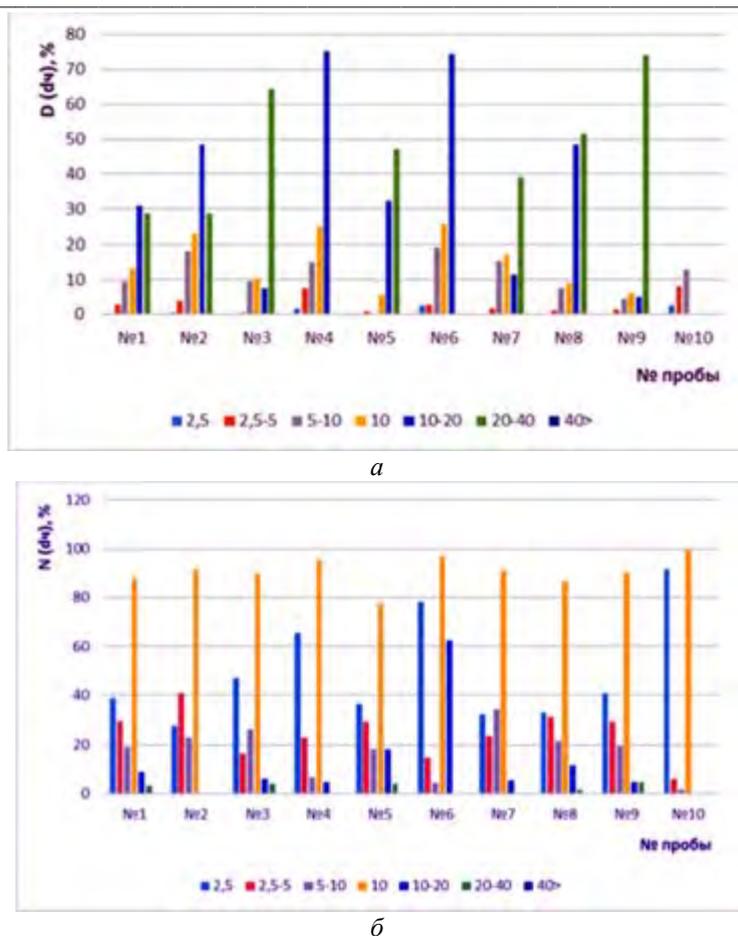


Рис. 6. Интегральные кривые распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке для пыли, отобранной в селитебной зоне по ул. Воровского (Среднеахтубинский район Волгоградской области)

На рисунке 7 представлены диаграммы распределения массы ( $D(d_p)$ , %) и количества ( $N(d_p)$ , %) частиц по эквивалентным диаметрам. Из рисунка 7 можно сделать вывод о том, что по количеству частиц на данной территории преобладают  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ , что в 5 раз больше по сравнению с условно-чистой зоной (контроль), а по массе преобладают более тяжелые фракции:  $10...20$  мкм,  $20...40$  мкм.



*б*

Рис. 7. Распределение массы и количества частиц по эквивалентным диаметрам (%) для пыли, отобранной в жилом квартале по ул. Воровского (Среднеахтубинский район Волгоградской области), точка № 2: *а* — диаграмма распределения массы частиц по диаметрам ( $D(d_q)$ , %); *б* — диаграмма распределения количества частиц по диаметрам ( $N(d_q)$ , %)

В результате проведенных исследований выявлен дисперсный состав пыли на листьях абрикосовых деревьев (*Prúnus armeníaca*) в селитебной зоне Среднеахтубинского района Волгоградской области (экспериментальная площадь) и в условно-чистой зоне в СНТ «Орошенец» на берегу Варваровского водохранилища. Обнаруженные мелкодисперсные частицы  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  по своим значениям ( $N_{d_{тч}}$ , %), ( $D_{d_{тч}}$ , %) значительно превышают данные по мелкодисперсной пыли в условно чистой зоне (контрольная площадь) в СНТ «Орошенец» как по количеству пылевидных частиц — в 3—4,8 раза, так и по своей массе — почти в 4 раза. Это создает определенные экологические риски для местных жителей. Превышение мелкодисперсной пыли на исследуемой территории в селитебной зоне может быть обусловлено разными факторами: как естественным, так и техногенным загрязнением окружающей среды. Поэтому в дальнейшем предстоит одновременно с исследованиями дисперсного состава пыли проводить ее химический анализ, чтобы оперативно находить источники загрязнения селитебных зон в г. Волгограде и Волгоградской области и разрабатывать экологические мероприятия [11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышенко О. В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Лесной вестник. 2012. № 3. С. 7—10.
2. Агеева Е. А., Казанцева М. Н. Оценка пылеудерживающей способности листьев деревьев и кустарников в насаждении г. Тюмени // Актуальные проблемы лесного хозяйства. 2012. № 31. С. 88—91.
3. Аткина Л. И., Игнатова М. В. Особенности пылеудерживающей способности листьев *Malus baccata* L., *Sorbus aucuparia* L., *Acer negundo* L., *Crataegus sanguinea* L. в городских посадках Екатеринбурга // Леса России и хозяйство в них. 2014. Вып. 4(51). С. 79—82.
4. Accumulation of particulate matter and trace elements on vegetation as affected by pollution level, rainfall and the passage of time / A. Przybysz and other // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 481. Pp. 360—369.
5. Accumulation of particulate matter, heavy metals, and polycyclic aromatic hydrocarbons on the leaves of *Tilia cordata* Mill. in five Polish cities with different levels of air pollution / R. Popek and other // International Journal of Phytoremediation. 2017. Vol. 19. Pp. 1134—1141.
6. Particulate Matter deposition on *Quercus ilex* leaves in an industrial city of central Italy / G. Sgrigna and other // Environmental Pollution. 2015. Vol. 197. Pp. 187—194.
7. Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution / Y. Song and other // Atmospheric Environment. 2015. Vol. 105. Pp. 53—60.
8. Quantifying the particulate matter accumulation on leaf surfaces of urban plants in Beijing, China / J. Shi and other // Atmospheric Pollution Research. 2017. Vol. 8. Pp. 836—842.
9. Assessing the Capacity of Plant Species to Accumulate Particulate Matter in Beijing, China / L. Mo and other // PLOS ONE. 2015. Vol. 10. Pp. 8—18.
10. Characterization of *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cong. (Melastomataceae) as a biomonitor of air pollution and quantification of particulate matter adsorbed by leaves / M. Zampieri and other // Ecological Engineering. 2013. Vol. 61. Pp. 316—327.
11. Фитомониторинг и промышленный дизайн: новый подход в обеспечении экологической безопасности городской среды / И. Ю. Глинянова и др. // Социология города. 2018. № 3. С. 83—94.

© Глинянова И. Ю., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Глинянова И. Ю. Экологическая безопасность городской агломерации с позиции фитомониторинга // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 171—181.

Об авторе:

**Глинянова Ирина Юрьевна** — канд. пед. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, O\_rast@list.ru

**Irina Yu. Glinyanova**

**Volgograd State Technical University**

**ECOLOGICAL SAFETY OF URBAN AGGLOMERATION  
FROM THE POINT OF VIEW OF PHYTOMONITORING**

Fine dust on the leaves of apricot trees (*Prúnus armeniáca*) in urban agglomeration (Sredneakhtubinsky district of the Volgograd region (experimental area) and conditionally clean zone in the SNT “Oroshanets” on the shore of the Varvarovsky reservoir (control area) is investigated and analyzed. The study made it possible to identify in some areas of low-rise buildings in the Sredne Akhtubinsk region of the Volgograd region dust particles:  $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$ , whose values by quantity

( $Nd_4$ , %) and by their mass ( $Dd_4$ , %) exceed the values from the conditionally clean zone (CHT "Orosnets" (control area) several times. This indicates that the study area of urban agglomeration is exposed to man-made stress. Identified areas of environmental risk and places safe to live.

**Key words:** fine dust,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , dispersion, apricot ordinary (*Prúnus armeniáca*), ecological risk, dust particles, ecological situation, urban agglomeration, phytomonitoring.

*For citation:*

Glinyanova I. Yu. [Ecological safety of urban agglomeration from the point of view of phytomonitoring]. *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], 2019, iss. 2, pp. 171—181.

*About author:*

**Irina Yu. Glinyanova** — Candidate of Pedagogic Sciences, Docent of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, O\_rast@list.ru

УДК 728.5:502

**А. О. Мишурова, Е. В. Сысоева**

*Московский государственный строительный университет*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОСТИНИЦ С «ЗЕЛеныМИ КРОВЛЯМИ»  
КАК ОДИН ИЗ ПУТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ  
БИОСФЕРОСОВМЕСТИМЫХ ГОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ**

В статье рассматриваются возможность и необходимость применения технологии «зеленой кровли» на зданиях гостиничного типа в попытке создания дополнительной территории озеленения и улучшения экологического баланса города для создания биосферосовместимой территории. Освещено изменение численности и плотности населения Москвы в период с 1871 г. по настоящее время. Дана оценка изменениям и текущей экологической ситуации городской застройки Москвы. Отмечен потенциал к увеличению количества зданий гостиниц в Москве к 2025 г. Доказана возможность внедрения технологии «зеленых кровель» в качестве инструмента для создания биосферосовместимой территории с помощью механизмов нововведений тройственного союза учения В. А. Ильичева о биосферной совместимости. Рассмотрены экологические и экономические аспекты применения данной технологии на зданиях гостиничного типа.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** биосферная совместимость, гостиницы, «зеленые кровли».

Принцип биосферной совместимости среды обитания человека, разработанный академиком В. А. Ильичевым [1], основывается на стремлении обеспечить баланс совместного существования биосферы и техносферы и создании устойчивой территории с регулированием потребления природных ресурсов человеком [2].

На протяжении многих тысячелетий человек создает искусственную среду обитания для улучшения определенного уровня благосостояния и комфорта. Строительство сооружений, дорог приводит к необходимости добычи природных минеральных ресурсов, а земледелие изменяет природный ландшафт. Территория, используемая для строительства зданий и влияющая на общий природный баланс, полностью не восстанавливается. Численность населения и плотность ее распространения внутри крупных мегаполисов стремительно увеличивается [3]. Если в 1871 г. численность населения Москвы составляла примерно 600 тыс. человек, к середине прошлого века (1959 г.) — уже 5085,6 тыс. чел. и к настоящему моменту (2017 г.) — 12,506 тыс. чел. Стремительно растет и плотность населения в этом крупнейшем мегаполисе: 1871 г. — 7623 человек на 1 км<sup>2</sup>; 1959 г. — 13 404 человек на 1 км<sup>2</sup>. Благодаря резкому увеличению прироста территории Москвы путем присоединения юго-западной части пригорода плотность населения к 2017 г. снизилась до 4834,31 человек на 1 км<sup>2</sup>.

За период с 2015 по 2025 г. по генеральному плану Москвы площадь озелененных территорий общего пользования, включая формирование новых объектов озеленения общего пользования, увеличится всего на 5 % при постоянном увеличении роста населения. Кроме того, плотность населения в старом кольце Москвы остается значительно выше, чем в новых присоединенных районах города.

Постоянная тенденция процесса урбанизации территории России и ухудшение неблагоприятной экологической ситуации на этих территориях благодаря приросту населения и увеличению площади застройки требуют комплексного подхода к решению многих вопросов для обеспечения безопасности городских территорий [4—7].

Зеленые территории города снизились до 30 %, что приводит к увеличению болезней дыхательных органов, возникновению вспышек ОРВИ, гриппа, новых видов рака и других хронических и трудноизлечимых болезней [8, 9]. В итоге сегодня столица представляет собой искусственно-естественную зону с экстремальными экологическими условиями, оказывающими в том числе негативное влияние как на биосферу, так и на «создателей» техносферы — самих людей [10].

Таким образом, требуется решение для экологических и энергетических проблем городской застройки в целом и отдельных гостиных в частности.

Целью данной статьи является рассмотрение возможности и необходимости применения технологии «зеленой кровли» на зданиях гостиничного типа в попытке создания дополнительной территории озеленения и улучшения экологического баланса города, т. е. создания биосферосовместимой территории.

По данным плана застройки Москвы, до 2025 г. предполагается «развитие инфраструктуры объектов гостиничного хозяйства» до 12,8 млн м<sup>2</sup> общей площади, т. е. в 2,7 раза выше показателей настоящего времени<sup>1</sup>.

Помимо этого, технология устройства «зеленых кровель», имеющая одной из задач улучшение экологической обстановки, также повышает инвестиционную привлекательность объекта, что отмечается в программах развития Российской Федерации<sup>2</sup> с акцентом на то, что применение новых технологий и нетиповых решений при возведении зданий общественного назначения (в том числе гостиных) обещает дать конкурентные преимущества застройщикам при реализации их продуктов.

Административные границы Москвы с учетом присоединения Новой Москвы (рис. 1) можно представить в виде условной схемы (рис. 2) с выделением зон I—IV, где I — центральная зона, II — периферийная, III — пригородная, IV — территория Новой Москвы.

Согласно статистике Москомархитектуры<sup>3</sup> количество гостиных Москвы к 2025 г. возрастет примерно на 210 единиц (рис. 3), а основная застройка зданиями гостиничного типа будет производиться в зонах II и III (рис. 4). На центральную часть I наложены ограничения по реконструкции исторической застройки, зоны III и IV имеют экологические преимущества, т. к. через них

<sup>1</sup> Постановление Правительства МОСКВЫ от 24 декабря 2012 года № 793-ПП «Об отраслевой схеме размещения гостиных в городе Москве» (с изменениями на 21 ноября 2017 года).

СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.

<sup>2</sup> Закон города Москвы от 5 мая 2010 года № 17 «О Генеральном плане города Москвы».

Распоряжение от 31 мая 2014 г. № 941-р «Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2020 года».

<sup>3</sup> <https://www.mos.ru/mka>

проходит лесозащитная полоса и плотность застройки существенно ниже, чем в первых двух зонах. Реальное преимущество от реализации технологии зеленых кровель могут получить зоны II и III.

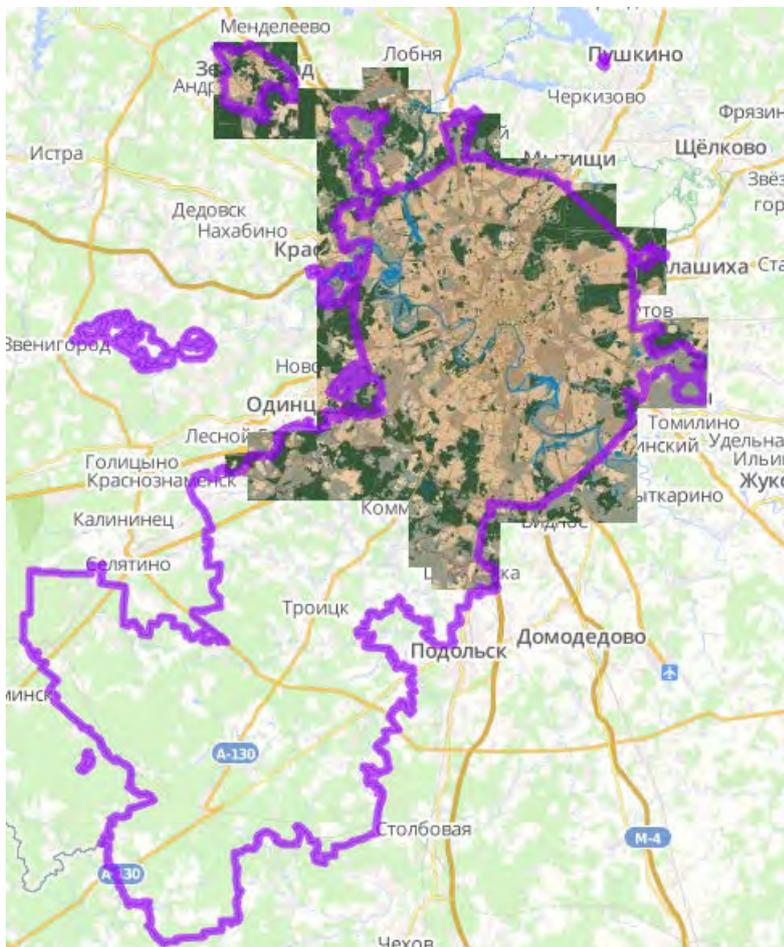


Рис. 1. Административные границы Москвы

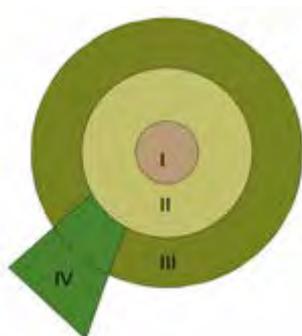


Рис. 2. Условная схема деления территории Москвы

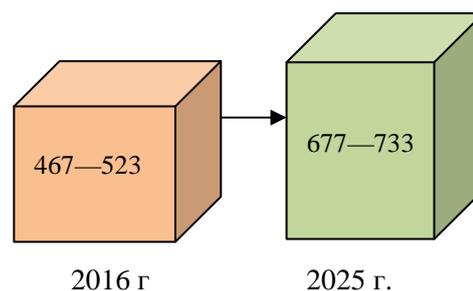


Рис. 3. Количество гостиниц Москвы на 2016 г. и к 2025 г. (без учета малых гостиниц)



Рис. 4. Планируемая застройка территории Москвы зданиями гостиничного типа с разделением по зонам

Применение технологии «зеленых кровель» на зданиях гостиничного типа позволит достигнуть так называемый гуманитарный или тройственный баланс, причем «зеленые кровли» могут внести в каждое из трех направлений свой вклад:

- 1) гостиницы позволяют людям реализовывать свою потребность в путешествиях и отдыхе;
- 2) экологические эффекты от «зеленых кровель», описанные ниже, вносят пусть малый вклад в масштабе одного здания, но достаточный в масштабе города (при условии массового озеленения городской застройки);
- 3) доказанный [11] психологический эффект от зеленых насаждений влияет на баланс населения.

Важным результатом можно считать тот факт, что увеличение площади зеленых насаждений хотя бы на 10 % приведут к увеличению биоразнообразия природной части города [12].

Эффект от применения технологии «зеленых кровель» в масштабах границ одного земельного участка можно проиллюстрировать на примере запроектированной гостиницы Novotel на Ленинградском шоссе. Согласно режимам разрешенного использования<sup>4</sup> участок имеет режим использования № 5, так как располагается в границах территории природного комплекса. В пределах участков с 5-ым режимом использования обязательным условием является обеспечение озеленения/обводнения 70 % поверхности земли. Баланс участка проектируемого объекта капитального строительства распределялся на 35,69 % под застройку и 64,3 % под озеленение. Недостаток озеленения

<sup>4</sup> Приказ Министерства экономического развития РФ от 1 сентября 2014 г. № 540 «Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков».

Постановление Правительства Москвы от 28.03.2017 № 120-ПП «Об утверждении правил землепользования и застройки города Москвы».

(5,7 %) было решено компенсировать устройством «зеленой кровли» в стилобатной части здания. Общий процент озеленения стал 70,01 % (рис. 5).

Внедрение технологии «зеленых кровель» можно провести с помощью механизмов нововведения тройственного союза, которые основаны на направлениях, главными среди которых можно выделить:

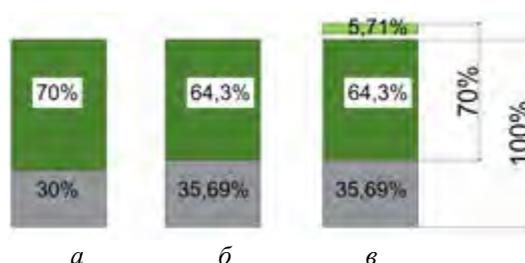


Рис. 5. Восполнение недостатка озеленения участка строительства гостиницы с режимом использования № 5: *а* — нормируемое озеленение; *б* — фактическое озеленение; *в* — обеспечение требуемого озеленения путем применения технологии «зеленых кровель»

1. Коммерческую прибыльную реализацию инновационного продукта на потребительском рынке. Например, продажа и аренда помещений с выходом на «зеленые кровли» обоснованно может предлагаться по более высокой цене. Классическое разделение типов объемно-пространственных структур гостиниц [13], представленное на рис. 6, позволяет выделить степень доступности и «эксклюзивность» «зеленых кровель» для жителей и гостей города. Так, например, можно ограничить доступ к «зеленым кровлям» только для постояльцев верхних номеров (рис. 6, *а*), что сделает такие номера с доступом к «садам на крышах» объектом повышенной уникальности и непосредственно повлияет на их рыночную цену. При этом выбор объемно-планировочного решения (*а—г*) не повлияет на экологический эффект.

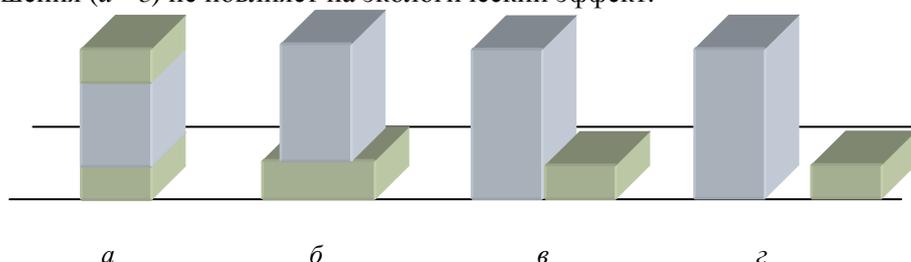


Рис. 6. Варианты взаиморасположения жилых и общественных помещений: *а* — встроенное; *б* — встроенно-пристроенное; *в* — пристроенное; *г* — павильонное; ■ — жилая часть; ■ — общественная часть с доступом к «зеленой кровле»

## 2. Законодательство, поощряющее нововведения.

Технология «зеленых кровель» увеличивает экономическую выгоду от использования их на зданиях гостиниц за счет увеличения эксплуатируемых площадей, повышения эстетики зданий и городской застройки, экологической привлекательности, увеличения срока службы гидроизоляции, возможности экономить на отоплении и кондиционировании, а также повышения рейтинга собственности с «зелеными» стандартами сертификации, а значит, и инвестиционной привлекательности строительства.

«Зеленые кровли» вносят серьезный вклад в экологический баланс биосферы: улучшение качества воздуха: 150 м<sup>2</sup> травяной кровли обеспечивают годовую потребность в кислороде для 100 человек [14];

улучшение температурного режима в крупных городах: уменьшение эффекта теплового пятна;

«зеленые кровли» способствуют очищению и рациональному использованию дождевой воды: слой растительного грунта толщиной 40 см, покрытый травой, удерживает до 20 % атмосферных осадков [15];

снижение уровня шума (от 2 до 10 дБ) и пыли;

создание экосистем для городской фауны;

увеличение биоразнообразия городской среды.

Возвращаясь к принципам матрицы преобразования города в биосферосовместимый, необходимо отметить, что переход к биосферной совместимости возможен только в комплексе мероприятий. «Зеленая кровля» должна внести вклад в гармоничное сосуществование урбанизированных территорий и окружающей природы. Большим шагом будет и «нормативно правовое обеспечение поддержания баланса биотехносферы», которое уже существует в ряде стран и городов. Открытия новых положительных аспектов от внедрения «зеленых кровель» подтверждает положение о познании как о новом подходе к формированию городской среды.

#### **Выводы:**

В данной статье рассмотрены возможность и необходимость применения технологии «зеленой кровли» на зданиях гостиничного типа с целью создания дополнительной территории озеленения и улучшения экологического баланса города, т. е. следования принципам построения биосферосовместимой территории, разработанной академиком В. А. Ильичевым.

Проанализировано изменение численности и плотности населения Москвы, начиная с 1871 г. по настоящее время. Отмечается стремительный рост населения с одновременным уменьшением средней плотности за счет присоединения территории юго-западной части пригорода.

Дана оценка изменениям и текущей экологической ситуации городской застройки Москвы. Наблюдается снижение зеленых территорий города на 30 %, увеличение плотности застройки. Рост площадей озелененных территорий общего пользования, включая формирование новых объектов озеленения общего пользования, увеличится всего на 5 % за период с 2015 г. до 2025 г. согласно генеральному плану г. Москвы.

Статистические и прогнозные данные говорят о том, что площадь застройки и число зданий гостиниц, по данным Росгосстата, увеличатся примерно на 210 единиц по сравнению с 2015 г., и это число будет продолжать расти ввиду туристической функции Москвы.

Доказано, что внедрение технологии «зеленых кровель» можно провести с помощью механизмов нововведения тройственного союза учения о биосферосовместимости.

Отражены экономические и экологические преимущества «зеленых кровель». Площадь застройки и уменьшение площади зеленых природных и искусственных насаждений могут быть компенсированы зелеными насаждениями на кровлях. Добавленные зеленые насаждения смогут обеспечить годовую потребность в кислороде примерно 2 млн человек, т. е. каждого шестого жителя мегаполиса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ильичев В. А.* Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? // Архитектура и строительство Москвы. 2009. № 2.
2. *Ильичев В. А.* Биосферная совместимость — принцип, позволяющий построить парадигму жизни в гармонии с планетой Земля // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2013. № 1(1). С. 4—5.
3. *Денисенко М. Б., Степанова А. В.* Динамика численности населения Москвы за 140 лет // Вестник Московского университета. Сер. 6. 2013. № 3. С. 88—97.
4. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека : монография / В. А. Ильичев и др. М. : АСВ, 2015. 184 с.
5. *Ghorbanzadeh M.* Green roof, yard rehabilitating in houses and a way to sustainable architecture // Building Construction and Architecture. 2017. № 2(34). С. 79—97.
6. *Ackerman K.* Urban agriculture: opportunities and constraints // Metropolitan Sustainability: Understanding and Improving the Urban Environment 2012. С. 118—146.
7. *Perry M. D.* Green roofs offer environmentally friendly alternative // Plant Engineering. 2003. Т. 57. № 8. С. 54.
8. *Воробьев С. А., Козлов Д. З.* Некоторые вопросы применения методов биоиндикации для оценки качества городской среды с позиции концепции биосферной совместимости // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2013. № 1. С. 35—41.
9. К построению критерия биосферной совместимости / В. А. Ильичев и др. // Отчет РААСН. 2008.
10. *Лихачева Э. А.* Экологические хроники Москвы. М. : Медиа-ПРЕСС, 2007.
11. *Шамарина А. А.* Эксплуатируемые кровли как средство городского дизайна. 2012. 13 с.
12. *Ranalli M., Lundholm J.* Biodiversity and ecosystem function in constructed ecosystems // CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources. 2008. Vol. 3. Pp. 34.
13. *Ольхова А. П.* Гостиницы. М. : Стройиздат, 1983. 175 с.
14. *Тугова Н. П.* Сады на крышах. М. : Олма-Пресс Гранд, 2003. 112 с.
15. *Wang H., Qin J., Hu Y.* Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? // Ecological Engineering. 2017. Vol. 107. Pp. 65—70.

© *Мишурева А. О., Сысоева Е. В., 2019*

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Мишурева А. О., Сысоева Е. В.* Проектирование гостиниц с «зелеными кровлями» как один из путей реализации концепции биосферосовместимых городов на примере Москвы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 182—189.

*Об авторах:*

**Мишурева Александра Олеговна** — магистрант, кафедра проектирования зданий и сооружений, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Сысоева Елена Владимировна** — канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Aleksandra O. Mishueva, Elena V. Sysoeva**

**Moscow State University of Civil Engineering**

**DESIGN OF HOTELS WITH “GREEN ROOFS” AS ONE OF THE WAYS  
OF IMPLEMENTING THE CONCEPT OF BIOSPHERE COMPATIBLE CITIES THROUGH  
THE EXAMPLE OF MOSCOW**

The article deals with a possibility and necessity of using the technology of “green roofs” on hotel-type buildings in order to create additional green areas and improve the ecological balance of the city to create a biosphere-compatible territory. The change in the number and density of the popu-

lation of Moscow since 1871 has been highlighted. The assessment of the changes and the current environmental situation of the urban development in Moscow have been given. The potential for an increase in the number of hotel buildings in Moscow by 2025 has been noted. The possibility of introducing the “green roofs” technology as a tool for creating biosphere-compatible areas with the help of implementation mechanisms of the tripartite union of the theory of V. A. Ilyichev about biosphere compatibility has been proved. The environmental and economic aspects of this technology on hotels have been considered.

**Key words:** biospheric compatibility, hotels, “green roofs”.

*For citation:*

Mishueva A. O., Sysoeva E. V. [Design of hotels with “green roofs” as one of the ways of implementing the concept of biosphere compatible cities through the example of Moscow]. *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], 2019, iss. 2, pp. 182—189.

*About authors:*

**Aleksandra O. Mishueva** — Master's Degree student, Department of Design of Buildings and Structures, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

**Elena V. Sysoeva** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Design of Buildings and Structures Department, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

УДК 69:628.4

**В. Г. Поляков, С. А. Чебанова, Е. А. Дубовская, Л. М. Лаврентьева**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОНАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В работе представлены данные о санитарно-защитных зонах промышленных предприятий Волгограда согласно публичной кадастровой карте. На примере предприятия теплоэнергетики обозначены особенности строительства в границах санитарно-защитной зоны. Приведен перечень мероприятий безопасности строительства с учетом эколого-градостроительных требований.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** санитарно-защитная зона, класс опасности, публичная кадастровая карта, промышленное предприятие, строительство, экология, отходы, атмосфера.

*Санитарно-защитная зона (СЗЗ)* — специальная территория с особым режимом использования, которая устанавливается вокруг объектов и производств, являющихся источниками воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Размер СЗЗ обеспечивает уменьшение воздействия загрязнения на атмосферный воздух (химического, биологического, физического) до значений, установленных гигиеническими нормативами<sup>1</sup>.

По своему функциональному назначению санитарно-защитная зона является защитным барьером, обеспечивающим уровень безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме. Ориентировочный размер СЗЗ определяется на время проектирования и ввода в эксплуатацию объекта в зависимости от класса опасности промышленных объектов и производств: первого класса I — 1000 м; второго класса II — 500 м; третьего класса III — 300 м; четвертого класса IV — 100 м; пятого класса V — 50 м<sup>2</sup>.

Размеры и границы санитарно-защитной зоны определяются в проекте СЗЗ [1—4], который обязаны разрабатывать предприятия, относящиеся к объектам I—III классов опасности, и предприятия, являющиеся источниками воздействия на атмосферный воздух, но для которых СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 не устанавливает размеры СЗЗ.

Подтвердить класс опасности предприятия и ориентировочный размер СЗЗ может выписка природоохранных контролирующих органов.

### **Санитарно-защитные зоны г. Волгограда**

Администрация Волгоградской области в 1994 г. выпустила постановление, в котором утвердила перечень предприятий, имеющих СЗЗ, обозначая их границы<sup>3</sup>. Представленное постановление охватывает почти все крупные промышленные предприятия Волгограда.

<sup>1</sup> Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ. Ст. 1, п. 4.

<sup>2</sup> СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

<sup>3</sup> Постановлению от 24 октября 1994 года № 647-П «Об утверждении перечня предприятий Волгограда, имеющих санитарно-защитные зоны».

На данный период времени документ утратил силу<sup>4</sup>, нового перечня сейчас не существует, возможность актуализировать данную информацию можно только с помощью использования публичной кадастровой карты (рис. 1) [5, 6].

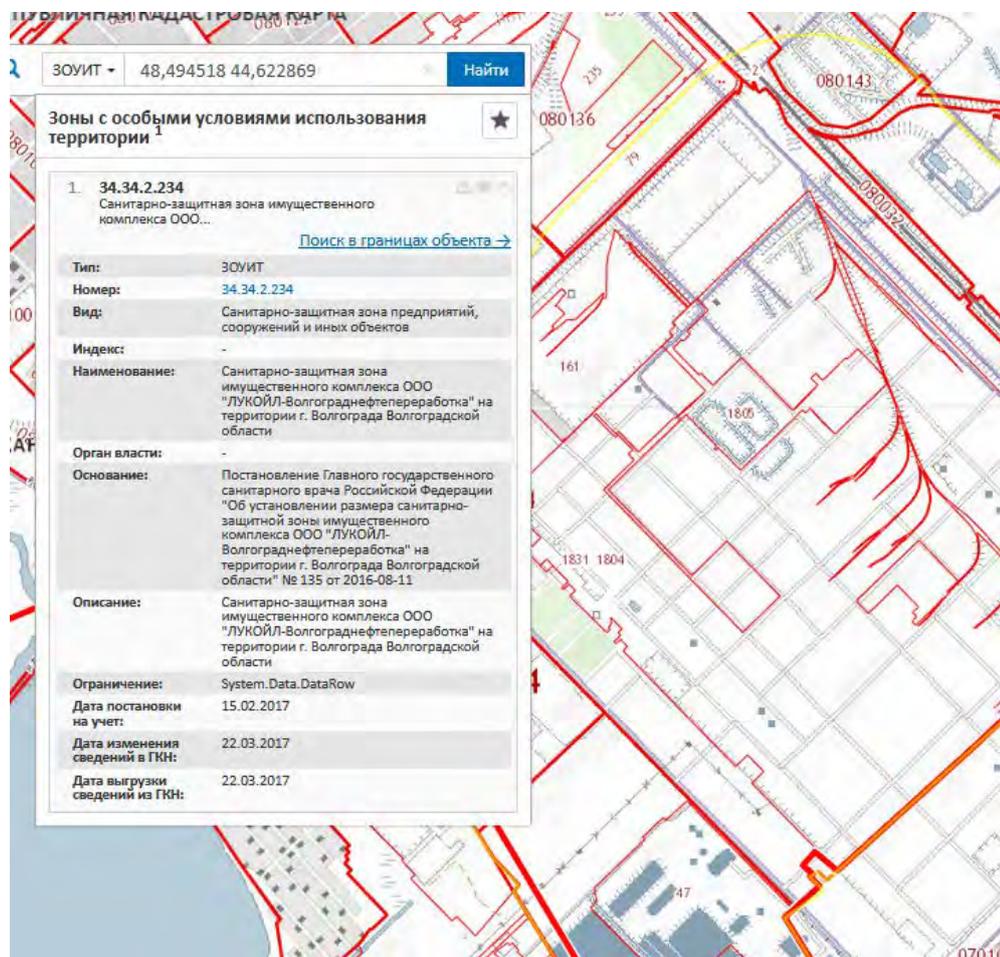


Рис. 1. Публичная кадастровая карта ООО «ЛУКОЙЛ-ВНП»

Однако не все СЗЗ находятся в росреестре и, соответственно, на публичной кадастровой карте.

#### **Строительство в границах санитарно-защищенных зон**

В санитарно-защитной зоне не допускается размещать: жилую застройку, включая отдельные жилые дома, ландшафтно-рекреационные зоны, зоны отдыха, территории курортов, санаториев и домов отдыха, территорий садоводческих товариществ и коттеджной застройки, коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных участков, а также других территорий с нормируемыми показателями качества среды обитания; спортивные сооружения, детские площадки, образовательные и детские учреждения, лечебно-

<sup>4</sup> Постановление администрации г. Волгограда от 08.06.2006 № 1117 «О признании утратившими силу правовых актов администрации Волгограда».

профилактические и оздоровительные учреждения общего пользования. Допускается размещать в границах СЗЗ промышленного объекта или производства здания и сооружения для обслуживания работников указанного объекта и для обеспечения деятельности промышленного объекта (производства): нежилые помещения для дежурного аварийного персонала, помещения для пребывания работающих по вахтовому методу (не более двух недель), здания управления, конструкторские бюро, здания административного назначения, научно-исследовательские лаборатории, поликлиники, спортивно-оздоровительные сооружения закрытого типа, бани, прачечные, объекты торговли и общественного питания, мотели, гостиницы, гаражи, площадки и сооружения для хранения общественного и индивидуального транспорта, пожарные депо, местные и транзитные коммуникации, ЛЭП, электроподстанции, нефте- и газопроводы, артезианские скважины для технического водоснабжения, водоохлаждающие сооружения для подготовки технической воды, канализационные насосные станции, сооружения оборотного водоснабжения, автозаправочные станции, станции технического обслуживания автомобилей<sup>5</sup> [7, 8].

Чаще всего на действующих предприятиях производится строительство новых корпусов, площадок отстоя грузовых автомобилей, дооборудование, реконструкция и т. д.

Для безопасного строительства проектными организациями разрабатываются: пояснительная записка, перечень мероприятий по охране окружающей среды, мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, требования к обеспечению безопасной эксплуатации объекта капитального строительства, перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, мероприятий по противодействию терроризму. Документация должна быть разработана согласно<sup>6</sup> и др. Производимая оценка воздействия на окру-

<sup>5</sup> СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

<sup>6</sup> Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ.

Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ.

Федеральный закон «О некоммерческих организациях» от 12.01.1996 N 7-ФЗ.

ГОСТ Р 21.1101—2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации (с Поправкой).

СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности.

СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с Изменением N 1).

СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1).

жающую среду в результате осуществления строительных работ по проекту и при дальнейшей эксплуатации сооружения нормируется<sup>7</sup> [9, 10, 11]. Производится расчет количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с помощью расчетных программ (например, «АТП-Эколог», «Сварка», «Лакокраска», «Эколог» и др.)<sup>8</sup> [12].

**Порядок оформления производства работ в санитарно-защитной зоне, организованной в пределах рабочей зоны теплового энергетического предприятия.** Перед началом работ приказом по подрядной организации из числа инженерно-технических работников должно быть назначено лицо, ответственное за производство работ, под постоянным руководством которого в СЗЗ действующих коммуникаций должны выполняться все виды работ<sup>9</sup>.

Все подрядчики, занятые в работах в СЗЗ, должны пройти дополнительное обучение по безопасности труда, инструктаж по последовательности безопасного выполнения технологических операций и проверку знаний. Обучение, инструктаж и проверка знаний по промышленной безопасности необходимо оформить документально (журналы инструктажа, протоколы по проверке знаний, выдаче удостоверения и т. д.). Персонал, не прошедший обучение, инструктаж и проверки знаний по охране труда, к работе в СЗЗ не допускается.

Кроме этого, всем рабочим следует выдать производственные инструкции, которые должны быть изучены и строго выполняться при производстве работ, всех работников необходимо также ознакомить с местонахождением действующих коммуникаций и их сооружений, с их обозначением на местности и с проектом производства работ<sup>10</sup>.

Перед началом работ на действующем объекте на бригаду выдается наряд-допуск. Он выдается также машинистам бульдозеров, экскаваторов, трубоукладчиков, тракторов, водителям автомашин и машинистам всех других механизмов, применяемых в СЗЗ<sup>11</sup>.

Объем и содержание подготовительных работ, последовательность их выполнения, меры безопасности при выполнении огневых работ, порядок проведения анализа воздуха, средства защиты, а также ответственные лица за подготовку и проведение огневых работ определяются совместным приказом подрядной организацией и действующего предприятия<sup>12</sup>.

---

Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 21.04.2018) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

<sup>7</sup> Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ (последняя редакция).

<sup>8</sup> ОНД-86 «Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий».

<sup>9</sup> СП 48.13330.2011. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01—2004 (с Изменением № 1).

<sup>10</sup> РД 102-011—89. Охрана труда. Организационно-методические документы.

<sup>11</sup> РД 09-250—98. Положение о порядке безопасного проведения ремонтных работ на химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих опасных производственных объектах.

<sup>12</sup> Федеральный закон «О некоммерческих организациях» от 12.01.1996 № 7-ФЗ.

Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 (ред. от 30.12.2017) «О противопожарном режиме» (вместе с «Правилами противопожарного режима в Российской Федерации»).

Наряд-допуск составляется в двух экземплярах: один остается у заказчика, другой передается ответственному за подготовку и проведение работ для выполнения намеченных мероприятий. Он согласовывается с противопожарными службами в части обеспечения мер пожарной безопасности и наличия на месте проведения огневых работ первичных средств пожаротушения.

Исполнители приступают к проведению работ только при наличии наряд-допуска, после получения указания ответственного лица за проведение работ. При подготовке к огневым работам ответственные по совместному приказу за подготовку и проведение этих работ определяют опасную зону, границы которой четко обозначаются предупреждающими и запрещающими знаками и надписями. Огневые работы проводятся при работе с трубопроводами или металлическими конструкциями.

Площадки под металлоконструкции, конструктивные элементы зданий, которые находятся в зоне проведения огневых работ, должны быть очищены от пожаро- и взрывоопасных продуктов. Сливные воронки, выходы из лотков и другие устройства, связанные с ливневой канализацией, в которых могут быть горючие газы и пары, должны быть перекрыты.

Место проведения огневых работ должно быть очищено от горючих веществ и материалов в зависимости от высоты расположения точки сварки (резки). Сгораемые настилы полов, конструкции из горючих материалов должны быть защищены от попадания на них искр специальными экранами, асбестовым полотном, металлическими листами, пенами или другими негорючими материалами, а при необходимости политы водой.

Места проведения огневых работ должны быть обеспечены необходимыми первичными средствами пожаротушения. Перед началом производства огневых работ, после перерывов в работе и во время проведения работ не реже одного раза в час производить замеры загазованности места отбора проб, наряд-допуск. Концентрация паров не должна превышать ПДК<sup>13</sup>.

Проезд строительной техники и автотранспорта над действующими технологическими трубопроводами и коммуникациями допускается только по специально оборудованным переездам в местах, согласованных с эксплуатирующей организацией. На участках, где действующие коммуникации заглублены менее 0,8 м, должны быть дополнительно установлены знаки с надписями, предупреждающими об особой опасности<sup>14</sup>.

Проезд техники и машин в необорудованных переездами местах запрещается.

При пересечениях с подземными коммуникациями земляные работы следует производить только вручную в присутствии представителей эксплуатирующих организаций. Разрабатывать грунт механизмами на расстоянии ближе 2 м от трубопроводов и кабелей запрещается<sup>15</sup>.

При выполнении земляных работ ответственный за проведение работ обязан показать машинисту бульдозера или экскаватора обозначенные

<sup>13</sup> Там же.

<sup>14</sup> ВСН 159-83 Миннефтегазстрой. Инструкция по безопасному ведению работ в охранных зонах действующих коммуникаций.

<sup>15</sup> РД 39Р-00147105-027-02. Инструкция по прокладке трубопроводов в обсыпке из гидрофобизированных грунтов.

вешками границы работ механизма и расположение действующих трубопроводов.

При работе вблизи воздушных линий электропередач (ЛЭП) машинисты строительных машин должны следить за тем, чтобы из-за неровности местности не произошло резкого наклона рабочего органа машин в сторону проводов воздушных линий и их опор.

Не допускается работа грузоподъемных машин вблизи ЛЭП при ветре, вызывающем отклонение на опасное расстояние свободных (без груза) тросов и канатов.

Не допускается пребывание на месте работы в СЗЗ, организованной в границах рабочей зоны промышленного предприятия людей, не имеющих прямого отношения к проводимой работе.

В статье рассмотрен ряд аспектов производства строительного-монтажных работ в СЗЗ, организованной в границах рабочей зоны энергетического предприятия. Класс опасности III, размер СЗЗ — 300 м от высоких нагретых источников выбросов (дымовые трубы).

#### **Выводы:**

1. Производство строительных работ в СЗЗ должно отвечать определенным условиям и требованиям экологической и промышленной безопасности.

2. Порядок оформления производства строительного-монтажных работ в данных зонах на действующих промышленных предприятиях с учетом приведенного основного перечня нормативных документов необходимо знать будущим специалистам (бакалаврам, магистрантам, аспирантам).

3. Рекомендации, приведенные в статье, могут оказаться полезными для организаций, осуществляющих строительные-монтажные работы на территории СЗЗ.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Воробьев В. И., Нестерюк С. А. Расчетный метод проектирования санитарно-защитных зон тепловых энергетических предприятий // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Технические науки. 2006. Вып. 6(20). С. 169—171.

2. Воробьев В. И., Нестерюк С. А. Оценка достаточности размера санитарно-защитной зоны теплоэнергетических предприятий в условиях сложившейся застройки города // Развитие современных городов и реформа жилищно-коммунального хозяйства : материалы III Международной науч.-практ. конф., 6—7 апр. 2005 г. М. : МИКХиС, 2005. С. 39—41.

3. Нестерюк С. А. Возможность определения нормативных санитарно-защитных зон тепловых энергетических предприятий // VIII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области г. Волгоград, 11—14 ноября 2003 г. Направление 16 «Экология, охрана среды, строительство» : тез. докл. Волгоград : ВолгГАСУ, 2004. С. 70—72.

4. Воробьев В. И., Нестерюк С. А. Эколого-градостроительные проблемы организации санитарно-защитных зон промышленно-энергетических комплексов в условиях сложившейся застройки городов (на примере гг. Волгограда и Волжского) // Архитектура и строительство. Наука и образование как фактор оптимизации среды жизнедеятельности : материалы Международного науч.-практ. конф.-семинара, 11—16 окт. 2004 года, Хаммаммет, Тунис. Волгоград : ВолгГАСУ, 2004. С. 111—113.

5. 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 ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. № 51(70). С. 198—204.

6. Князев Д. К., Чебанова С. А. Землепользование и городской кадастр : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 86 с.

7. Хихол Г. А., Чебанова С. А. О санитарно-защитных зонах ТЭЦ урбанизированных территорий // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. матер. и науч. тр. инж.-экологов / под ред. В. Н. Азарова. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. Вып. 6. С. 75—77.

8. Чебанова, С.А., Воробьев В. И., Балычев В. Д. Учет влияния факельных выбросов от предприятий ТЭК при расчетах рассеивания загрязняющих веществ и проектировании санитарно-защитных зон // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2010. Вып. 18(37). С. 144—148.

9. Чебанова С. А. Исследование влияния тепловых энергетических предприятий городской инфраструктуры на состояние воздушной среды урбанизированных территорий : дисс... канд. техн. наук. Волгоград, 2014. 138 с.

10. 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.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 32(51). С. 234—238.

11. Чебанова С. А., Воробьев В. И., Балычев В. Д. Расчет рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ от предприятий топливно-энергетического комплекса с учетом наложения факельных выбросов от высоких нагретых организованных источников // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 17. С. 148—152.

12. Воробьев В. И., Нестерюк С. А. Влияние направления ветра на организацию экозащитных зон от совокупности источников различной высоты // Архитектурно-градостроительные и строительные проблемы национального проекта — доступное и комфортное жилище : докл. и сообщ. Международной науч.-практ. конф.-семинара, Шарджа, ОАЭ, 21—28 апр. 2006 г. Волгоград : ВолгГАСУ. 2006. С. 69—73.

© Поляков В. Г., Чебанова С. А., Дубовская Е. А., Лаврентьева Л. М., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности строительной деятельности в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий / В. Г. Поляков, С. А. Чебанова, Е. А. Дубовская, Л. М. Лаврентьева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 190—197.

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, arpel@mail.ru

**Лаврентьева Любовь Михайловна** — аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, 89880243647@mail.ru

**Vladimir G. Polyakov, Svetlana A. Chebanova, Ekaterina A. Dubovskaya,  
Lyubov' M. Lavrent'eva**

**Volgograd State Technical University**

## **FEATURES OF CONSTRUCTION ACTIVITY IN SANITARY-PROTECTIVE ZONES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

In this paper, the authors provided information about on the sanitary protection zones of industrial enterprises of Volgograd according to a public cadastral map. Using the example of a heat and power enterprise, they identified the features of construction within the sanitary protection zone. They

gave a list of measures for the safety of construction with regard to environmental and town planning requirements.

**Key words:** sanitary protection zone, hazard class, public cadastral map, industrial enterprise, building, ecology, waste material, atmosphere.

*For citation:*

Polyakov V. G., Chebanova S. A., Dubovskaya E. A., Lavrent'eva L. M. [Features of construction activity in sanitary-protective zones of industrial enterprises]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 190—197.

*About authors:*

**Vladimir G. Polyakov** — 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

**Svetlana A. Chebanova** — 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

**Ekaterina A. Dubovskaya** — Master's Degree student, Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, appel@mail.ru

**Lyubov' M. Lavrent'eva** — Postgraduate student, Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, 898880243647@mail.ru

УДК 711.6

**В. В. Прокопенко, О. А. Ганжа, Э. С. Косицына**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ОЦЕНКА НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА)**

В работе рассмотрены проблемы освоения нарушенной территории в крупнейших городах путем градостроительного планирования на нарушенных территориях. Рассмотрены территориальные признаки нарушенной территории относительно функциональных зон города.

**Ключевые слова:** нарушенная территория, тип нарушенной территории, функциональные зоны города.

Научно-технический прорыв на рубеже XX—XXI вв. и, как следствие, рост городов и урбанизации привел к бурному развитию городской территории, все это обострило градостроительные проблемы в области эффективного использования городских территорий, в том числе нарушенных территорий в ходе хозяйственной деятельности человека. Возникновению нарушенной территории способствует малограмотная градостроительная политика, построенная только на принципах потребления [1—3].

Согласно терминологии, приведенной в государственном стандарте ГОСТ 17.5.1.01—83<sup>1</sup>, нарушенные земли — это земли, утратившие в связи с их нарушением первоначальную хозяйственную ценность и являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду. Нарушенные территории в результате хозяйственной деятельности разделяют на две группы: земли, поврежденные насыпным грунтом — отвалы, терриконы, карьеры и свалки; территории, поврежденные выемкой грунта — карьеры открытых горных разработок, добычи местных строительных материалов и торфа, провалы и прогибы на месте подземных горных работ, резервы и траншеи при строительстве линейных сооружений<sup>2</sup>.

Градостроительным кодексом РФ установлено понятие «устойчивое развитие территории», согласно которому вся градостроительная политика должна обеспечивать безопасность и благоприятные условия жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений<sup>3</sup>.

Освоение нарушенных территорий тесно связано с градостроительной деятельностью. Решением данной проблемы занимаются как отечественные, так и зарубежные специалисты [4—11]. Наиболее популярным градостроительным средством при освоении данного типа территории являлось преоб-

<sup>1</sup> ГОСТ 17.5.1.01—85. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006606>

<sup>2</sup> Большая энциклопедия нефти и газа. URL: <https://www.ngpedia.ru/id510855p1.html>

<sup>3</sup> Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ.

разование участка территории с техногенным рельефом в рекреационную зону. Это подчеркивает ландшафтную особенность и обеспечивает город уникальными панорамными видами, вносит разнообразие в городской облик [12, 13].

В настоящее время вопрос восстановления и использования нарушенных территорий является одним из приоритетных в градостроительной деятельности Волгограда. Согласно проведенному исследованию в рамках инженерно-экологических изысканий в Волгограде выявлено 29 нарушенных территорий, которые можно классифицировать на 4 типа:

тип 1 — территория отработанных карьеров по добыче полезных ископаемых;

тип 2 — территория полигонов ТБО;

тип 3 — территория овражно-балочной системы;

тип 4 — территории производственных предприятий, как правило, не функционирующих.

Нарушенная территория разделяется по территориальному и функциональному признаку. К территориальным признакам следует отнести расположение нарушенной территории в границах города — городские территории и нарушенной территории за границей города — загородные территории.

Таким образом, в зависимости от расположения нарушенной территории выделено 4 схемы (табл. 1).

В зависимости от расположения нарушенной территории города можно рассчитать коэффициент вредного воздействия нарушенной территории, который определяется как общее количество площади объектов нарушенной территории, отнесенное ко всей площади городской территории.

Для определения коэффициента вредного воздействия необходимо определить площадь воздействия нарушенной территории на городскую территорию. Исследование выполняется в виде графической схемы административных районов с применением сетки с  $\Delta$  шагом 200 м и на основе данных о площадях нарушенных территорий в каждом рассматриваемом квадрате сетки, определено влияние нарушенных территорий на качество среды городской территории, также определено количество людей, находящихся в зоне влияния нарушенной территории. В результате проведенного исследования определено, что в Краснооктябрьском административном районе в зоне влияния нарушенной территории находится 66 495 человек, а в Центральном административном районе — 47 207 человек [14].

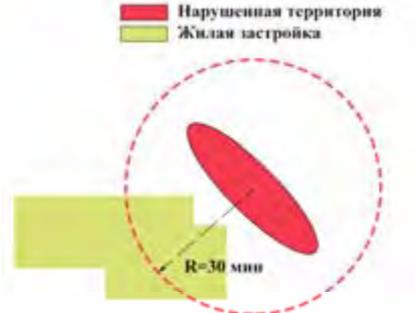
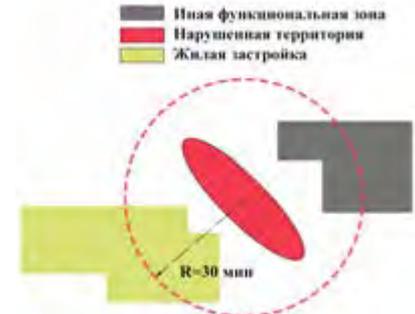
Коэффициент вредного воздействия  $K_{\text{вв}}$  показывает, сколько человек на каждом гектаре территории района города испытывает воздействие нарушенной территории. Значение коэффициента вредного воздействия для городских территорий определяется по формуле [2]:

$$K_{\text{вв}} = \frac{N}{S} \cdot \frac{S_{\text{нт, г}}}{S}, \text{ чел./га}$$

где  $N$  — численность населения города, чел.;  $S_{\text{нт, г}}$  — площадь нарушенных территорий района, га;  $S$  — общая площадь района, га.

Результаты по установлению коэффициента вредного воздействия нарушенной территории на городскую среду Волгограда представлены в табл. 2.

Схемы взаиморасположения нарушенных территорий

Наименование схемы	Схема
<p>Схема 1 — нарушенная территория при- мыкает к функцио- нальной зоне города с двух и более сторон</p>	 <p>Legend:   <span style="color: red;">■</span> Нарушенная территория  <span style="color: green;">■</span> Жилая застройка</p>
<p>Схема 2 — нарушен- ная территория при- мыкает к функцио- нальной зоне с одной стороны или в пеше- ходной доступности до 30 минут</p>	 <p>Legend:   <span style="color: red;">■</span> Нарушенная территория  <span style="color: green;">■</span> Жилая застройка</p>
<p>Схема 3 — нарушен- ная территория нахо- дится между функ- циональными зонами в границах города с радиусом доступно- сти более 30 минут</p>	 <p>Legend:   <span style="color: grey;">■</span> Иная функциональная зона  <span style="color: red;">■</span> Нарушенная территория  <span style="color: green;">■</span> Жилая застройка</p>
<p>Схема 4 — нарушен- ная территория нахо- дится за пределами городской черты</p>	 <p>Legend:   <span style="color: red;">■</span> Нарушенная территория  <span style="color: red;">- - -</span> Граница города</p>

Т а б л и ц а 2

*Коэффициент вредного воздействия  
для административных районов Волгограда*

Район города Волгограда	Коэффициент вредного воздействия для административных районов города $K_{\text{вв}}$ , чел./га
Тракторный	2,74
Краснооктябрьский	7,85
Дзержинский	1,27
Центральный	2,79
Ворошиловский	1,04
Советский	0,26
Кировский	0,21
Красноармейский	2,50

Полученные значения показателя характеризует степень негативного влияния нарушенной территории на жителей районов города. В Краснооктябрьском административном районе Волгограда условия проживания населения ухудшены из-за нарушенных территорий ( $K_{\text{вв}} = 7,85$  чел./га). Коэффициент вредного воздействия для города Волгограда от всех типов нарушенных территорий равен 1,01 чел./га.

С целью устранения вредного влияния и повышения эффективности нарушенной территории необходимо определить оптимальный вид использования земельных участков, что будет способствовать раскрытию потенциала земельного участка.

Для определения вида и способа использования нарушенной территории с учетом функциональных зон проведена оценка факторов, влияющих на процесс восстановления территории в соответствии ГОСТ 17.5.3.04—83<sup>4</sup> (табл. 3).

В результате проведенной оценки факторов построены диаграммы по каждому типу нарушенных территорий (рис. 1—4).

Выявлены наиболее эффективные виды использования нарушенных территорий: промышленное и гражданское строительство; устройство водоемов и зеленого строительства (размещение на территории отработанных карьеров и полигонов твердых бытовых отходов). Полученные данные показывают благоприятное воздействие при реабилитации нарушенной территории на градозэкологический каркас города.

Результатом проведенных исследований выявлены ареалы селитебной территории, благоприятные для проживания человека.

При градостроительном планировании необходимо учитывать методику выбора вида использования нарушенных территорий на основании градозэкологических особенностей с учетом факторов оценки нарушенных территорий (морфологические параметры и планировочные особенности территории).

Для перспективного развития территории необходимо знать влияние нарушенных территорий на качество городской среды с расчетом геометрических параметров и оценки вредного воздействия нарушенной территории.

<sup>4</sup> ГОСТ 17.5.3.04—83. Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003393>

*Характеристика вида и способа использования нарушенной территории*

Вид использования	Характеристики	
Строительство	1. Необходимость очищения от мусора	
	2. Необходимость выравнивания площадки	
	3. Необходимость сохранения рельефа	
	4. Грубая и чистовая планировка поверхности отвалов, засыпка нагорных, водоподводящих, водоотводящих каналов; выполаживание или террасирование откосов; засыпка и планировка шахтных провалов	
	5. Освобождение рекультивируемой поверхности от крупногабаритных обломков пород, производственных конструкций и строительного мусора с последующим их захоронением или организованным складированием	
	6. Строительство подъездных путей к рекультивированным участкам, устройство въездов и дорог на них с учетом прохода сельскохозяйственной, лесохозяйственной и другой техники	
	7. Устройство при необходимости дренажной, водоотводящей оросительной сети и строительство других гидротехнических сооружений	
	8. Устройство дна и бортов карьеров, оформление остаточных траншей, укрепление откосов	
	9. Ликвидация или использование плотин, дамб, насыпей, засыпка техногенных озер и протоков, благоустройство русел рек	
	10. Создание и улучшение структуры рекультивационного слоя, мелиорация токсичных пород и загрязненных почв, если невозможно их засыпка слоем потенциально плодородных пород	
	11. Создание при необходимости экранирующего слоя	
	12. Возможности произрастания растительности	
	17. Наличие объектов капитального строительства	
	18. Присутствие вредных загрязняющих веществ	
	19. Ценность площадки в структуре города	
	Зеленое строительство	1. Степень обводненности и уровень грунтовых вод
		2. Необходимость сохранения рельефа
		3. Устройство при необходимости дренажной, водоотводящей оросительной сети и строительство других гидротехнических сооружений
		4. Наличие объектов капитального строительства
5. Присутствие вредных загрязняющих веществ		
6. Ценность площадки в структуре города		
Водоемы	1. Устройство при необходимости дренажной, водоотводящей оросительной сети и строительство других гидротехнических сооружений	
	2. Ликвидация или использование плотин, дамб, насыпей, засыпка техногенных озер и протоков, благоустройство русел рек	
	3. Степень обводненности и уровень грунтовых вод	
	4. Наличие объектов капитального строительства	
	5. Присутствие вредных загрязняющих веществ	
	6. Ценность площадки в структуре города	

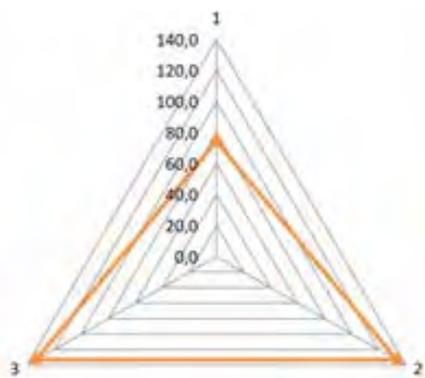


Рис. 1. Территории производственных предприятий

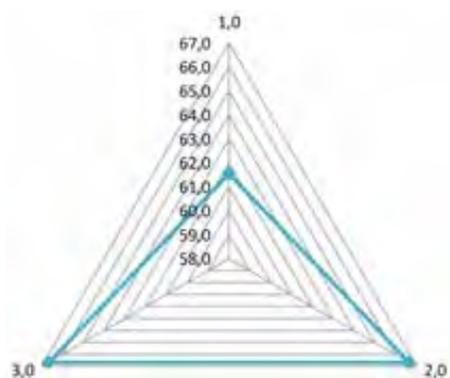


Рис. 2. Территории овражно-балочных систем

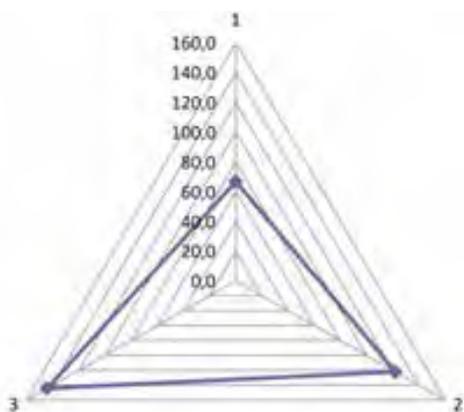


Рис. 3. Отработанные карьеры по добыче полезных ископаемых

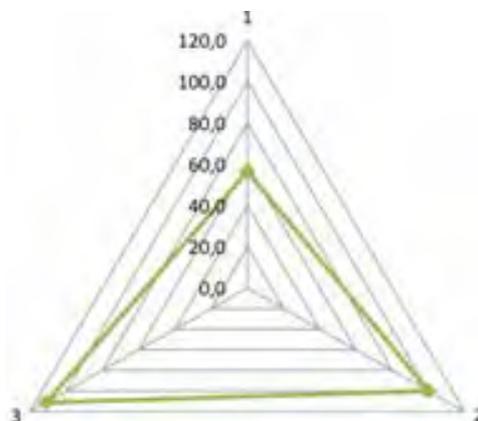


Рис. 4. Полигоны твердых бытовых отходов

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрова З. К. Применение малоэтажной комфортной жизнеобеспечивающей жилой застройки на нарушенных территориях // Градостроительство. 2011. № 6(16). С. 29—34.
2. Оленьков В. Д. Градостроительное планирование на нарушенных территориях. М. : ЛКИ, 2007. 192 с.
3. Оленьков В. Д. Градостроительная безопасность. М. : ЛКИ, 2007. 104 с.
4. Duran S. C. Introduction by: Lance Hosey. Green Homes // Collins Design. 2007.
5. Seyyed H. H., Peyman Rad A. H., Kashi E. Investigation of dissipation flow in the urban canyon // Advances in Environmental Technology. 2015. № 3.
6. Kim Jae-Jin, Baik Jong-Jin. Effects of Street-Bottom and Building-Roof Heating on Flow in Three-Dimensional Street Canyons // Advances in atmospheric sciences. 2010. № 3. Pp. 513—527.
7. Kim Jae-Jin, Baik Jong-Jin. A numerical study of the effects of ambient wind direction on flow and dispersion in urban street canyons using the RNG k- $\epsilon$  turbulence model // Atmospheric Environment. 2014. № 38. С. 3039—3048.
8. Лазарева И. В., Оленьков В. А. Градостроительное освоение нарушенных территорий // Градостроительство. 2012. № 3(19). С. 34—43.
9. Лазарева И. В. Генотерритории // Градостроительство. № 4. 2009. С. 17—19.
10. Лазарева И. В. Территориальные основы градостроительства // Territorial Foundation of City and Town Planning. М., 2007. 280 с.

11. *Conan M.* Environmentalism in Landscape Architecture // Dumbarton Oaks, Washington, DC, 2000.

12. *Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В.* Методология планирования ландшафтно-экологической устойчивости природных компонентов в виртуальной модели (на примере Волгограда) // MATEC Web of Conferences. Vol. 170. International Science Conference SPbWO-SCE-2017 «Business Technologies for Sustainable Urban Development», St. Petersburg, Russia, December 20—22, 2017. Section : Environmentally-friendly Solutions for Urban Living / Eds. I. Pin and O. Kalinina. 2018. 10 с. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817004012>

13. *Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В.* Методология планирования ландшафтно-экологической устойчивости природных компонентов в виртуальной модели городской среды // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 167—175.

14. *Прокопенко В. В., Косицына Э. С.* Методика определения равномерности распределения объектов озеленения по районам города // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30(49). С. 284—287.

© Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Косицына Э. С., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

*Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Косицына Э. С.* Оценка нарушенных территорий крупнейших городов (на примере города Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 198—205.

Об авторах:

**Прокопенко Вячеслав Валентинович** — канд. техн. наук, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [v.v.p\\_24@mail.ru](mailto:v.v.p_24@mail.ru)

**Ганжа Ольга Александровна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [ganzha\\_olga@mail.ru](mailto:ganzha_olga@mail.ru)

**Косицына Эльвира Сергеевна** — канд. техн. наук, проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [kositsyna\\_elvira@mail.ru](mailto:kositsyna_elvira@mail.ru)

**Vyacheslav V. Prokopenko, Ol'ga A. Ganzha, El'vira S. Kositsyna**

**Volgograd State Technical University**

## **ASSESSMENT OF THE DISTURBED TERRITORIES OF THE LARGEST CITIES (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF VOLGOGRAD)**

The paper deals with the problems of development of the disturbed area in the largest cities by urban planning in the disturbed areas. The territorial features of the disturbed territory relative to the functional areas of the city are considered.

**К e y w o r d s:** disturbed territory, type of disturbed territory, functional areas of the city.

*For citation:*

Prokopenko V. V., Ganzha O. A., Kositsyna E. S. [Assessment of the disturbed territories of the largest cities (on the example of the city of Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 198—205.

*About authors:*

**Vyacheslav V. Prokopenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [v.v.p\\_24@mail.ru](mailto:v.v.p_24@mail.ru)

**Ol'ga A. Ganzha** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ganzha\\_olga@mail.ru](mailto:ganzha_olga@mail.ru)

**El'vira S. Kositsyna** — Candidate of Engineering Sciences, Professor of Environmental Engineering and Urban Economy Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [kositsyna\\_elvira@mail.ru](mailto:kositsyna_elvira@mail.ru)

УДК 504.064.2.001.18

*Н. М. Рашевский, Б. Х. Санжапов, А. А. Сеницын, В. Р. Барихашвили*

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Волгоградской области  
в рамках научного проекта № 18-47-343002 p\_мол\_a**

В статье приводятся проблемы в области мониторинга атмосферного воздуха в России. Представлено формальное представление показателей качества воздуха. Предлагается подход к проведению вычислительного эксперимента по определению участков, на которых может понадобиться принятие мер по уменьшению вредного воздействия загрязненного воздуха на здоровье граждан. Приведена структура базы знаний системы проведения вычислительного эксперимента.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** поддержка принятия решений, качества воздуха, геоинформационные системы, индексы качества воздуха.

### **Введение**

Ресурсом развития прогресса в основном является промышленность, развитие которой играет ведущую роль для экономики. Техногенный тип развития цивилизации в связи с увеличивающимися темпами роста диктует правила поведения. Они таковы, что требуется увеличивать производство, привлекаемая к процессам все больше природных ресурсов, в результате чего нарушается целостность каждой из оболочек биосферы, что негативно влияет не только на темпы развития в экономической, промышленно-технической и информационной сферах, но и ухудшает качество и продолжительность жизни человека и всего живого на планете.

Проблема загрязнения воздушного бассейна наиболее актуальна в настоящее время. Для решения данного вопроса проводятся мероприятия по отслеживанию состояния качества атмосферного воздуха и своевременному реагированию с целью восстановления и улучшения. Такие мероприятия можно описать как набор действий, заключений и отчетов, объединенных под понятием экологического мониторинга.

Мониторинг атмосферного воздуха является одной из важных задач в рамках обеспечения экологической безопасности городских территорий. Данные о загрязнении воздуха выбросами от предприятий, автотранспорта и других источников необходимы для определения возможного вреда здоровью различных категорий граждан и принятия соответствующих мер. Принятие мер особенно важно в селитебной зоне, где проживают граждане, наиболее чувствительные к загрязнению воздуха.

### **Формальное представление показателей качества воздуха**

В работе описаны общие исследования предметной области — мониторинга качества атмосферного воздуха. Установлены границы исследования: авторы не рассматривают загрязнение воздуха внутри помещений; природные и техногенные катастрофы; загрязнения воздуха внутри санитарных зон предприятий, свалок

и т. д. По результатам исследования зарубежных и отечественных систем мониторинга и прогнозирования качества атмосферного воздуха<sup>1</sup>, а также систем информирования населения о загрязнении воздуха были выделены основные проблемы в области мониторинга атмосферного воздуха в России:

малое число постов мониторинга и перерывы в их работе;

отсутствие прогнозов качества воздуха;

российские системы моделирования не используют доступные спутниковые данные, из-за чего страдает точность моделирования;

отсутствие рекомендаций для граждан по уменьшению вредного воздействия загрязнения воздуха на здоровье.

Исследование зарубежного опыта мониторинга качества воздуха показало [1, 2], что указанные проблемы могут быть решены при помощи современных систем математического моделирования атмосферных процессов и процессов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, показателей качества воздуха, которые дают рекомендации об изменении уровня физической активности.

Основным методом интерпретации данных мониторинга качества воздуха является сравнение концентраций загрязняющих веществ с неким пороговым значением, например с нормативными значениями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), или со значениями предельно допустимых концентраций (ПДК) [3—8]. Основной проблемой такого подхода является слишком резкий переход от допустимых значений к недопустимым по территории и по времени.

За рубежом для информирования населения о загрязнении воздуха используются показатели качества воздуха. В рамках данного исследования было разработано формальное представление показателей качества воздуха.

Загрязнение воздуха на некотором участке в момент времени  $T$  описывается вектором значений концентраций загрязняющих веществ  $C(T) = (c_1, c_2, \dots, c_{nc})$ . Внутри ячейки находятся граждане, принадлежащие к различным категориям  $\{K_1, K_2, \dots, K_{nk}\}$  с точки зрения чувствительности к загрязнению воздуха.

В показателях качества воздуха преимущественно используются следующие категории граждан:

$K_1$ : дети и пожилые люди;

$K_2$ : люди с сердечно-сосудистыми заболеваниями;

$K_3$ : люди с респираторными заболеваниями (астма, хронический бронхит и др.);

$K_4$ : люди, малочувствительные к загрязнению.

Показатель качества воздуха  $QI$  включает некую процедуру  $P$ , которая на основе значений концентраций  $C(T)$  оценивает качество воздуха по некоторой числовой шкале, т. е.:

<sup>1</sup> Map: Ontario's Air Monitoring Stations, AQHI / Queen's Printer for Ontario. 2018. URL: <http://www.airqualityontario.com/>

Air Pollution Forecast — Air Quality in Scotland / Air Quality in Scotland. 2018. URL: <http://www.scottishairquality.co.uk/latest/forecast>

Государственный экологический мониторинг в Москве / Мосэкомониторинг. 2018. URL: <http://www.mosecom.ru/about/mosecom/>

$$V = P(c_1, c_2, \dots, c_{nc}),$$

где  $nc$  — число видов загрязняющих веществ.

Шкала разделена на несколько интервалов  $\{I_1, I_2, \dots, I_{ni}\}$ .

Каждому интервалу  $I_j$  соответствует текстовое и цветовое обозначение.

Каждому интервалу  $I_j$  и категории граждан  $K_i$  соответствует описание возможного риска для здоровья и рекомендации  $R_{ij} \in \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{inr}\}$  по уменьшению вреда здоровью.

$R_1$ . Загрязнение воздуха не угрожает здоровью граждан. Возможны длительные и интенсивные физические нагрузки.

$R_2$ . Гражданам, особенно чувствительным к загрязнению воздуха, следует обратить внимание на свое состояние здоровья. В случае появления негативных симптомов (таких как кашель, затруднение дыхания, раздражение горла и дыхательных путей), следует немного уменьшить интенсивность и длительность физических нагрузок на улице.

$R_3$ . Гражданам следует уменьшить длительность и интенсивность физических нагрузок на улице, особенно в случае появления негативных симптомов (таких как кашель, затруднение дыхания, раздражение горла и дыхательных путей).

$R_4$ . Гражданам следует избегать длительных или интенсивных физических нагрузок на улице.

$R_5$ . Гражданам следует избегать физических нагрузок.

$R_6$ . Гражданам следует оставаться в помещении и свести к минимуму физическую активность.

Таким образом, показатель качества воздуха  $QI$  позволяет гражданину из категории  $K$  на основе значений концентраций загрязняющих веществ получить рекомендации по уменьшению вреда для здоровья.

$$R = QI(K, c_1, c_2, \dots, c_{nc}). \quad (1)$$

При расчете значения показателей качества воздуха, как правило, используются значения концентраций озона  $O_3$ , диоксида азота  $NO_2$ , диоксида серы  $SO_2$ , взвешенных частиц  $PM_{2,5}$ , взвешенных частиц  $PM_{10}$ , оксида углерода  $CO$ .

#### Подход к проведению вычислительного эксперимента

Предлагается метод определения участков неблагоприятной экологической обстановки с помощью статистики Гетиса-Орда [9], а также метод формирования рекомендаций по уменьшению вредного воздействия на здоровье от загрязнения воздуха.

Территория города представлена в виде сетки, состоящей из ячеек одинакового размера. Загрязнение воздуха внутри ячейки  $i, j$  в момент времени  $T$  описывается вектором значений концентраций загрязняющих веществ

$$C_{ij}(T) = (c_1, c_2, \dots, c_{nc}).$$

Первая задача, решаемая с помощью вычислительного эксперимента, — это задача определения участков, на которых может понадобиться принятие мер по уменьшению вредного воздействия загрязнения воздуха на здоровье.

В зарубежных исследованиях эти участки называются Air Quality Management Area (AQMA).

Для учета неопределенности, возникающей при прогнозировании качества воздуха, область AQMA определяется не на каждый час, а сразу на несколько часов. Задача определения области управления качеством воздуха формулируется следующим образом:

$$\{ \langle i, j \rangle \} = \text{AQMA} \left( \{ \langle i, j, T, c_1, c_2, \dots, c_{nc} \rangle \} \right), \quad (2)$$

где  $i, j$  — номер строки и столбца для ячейки карты;  $T$  — час дня (от 0 до 23).

Выполнение данного запроса может быть упрощено за счет использования показателя качества воздуха. В этом случае задача формулируется следующим образом:

$$\{ \langle i, j \rangle \} = \text{AQMA} \left( \{ \langle i, j, T, V \rangle \} \right), \quad (3)$$

где  $V$  — значение на шкале показателя качества воздуха.

В данной работе предлагается использовать метод поиска горячих точек на основе статистики Getis-Ord  $G_i^*$ , т. к. данный метод реализован в распространенных геоинформационных системах — ArcGIS<sup>2</sup>, QGIS<sup>3</sup> и др. Данный алгоритм для каждой точки с известным значением некоторой характеристики рассчитывает значение  $p$  вероятности того, что данное значение определено случайным процессом, и  $Z$  — величины стандартного отклонения.

Общий индекс  $G$ , характеризующий степень кластеризации, определяется по формуле:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \quad \forall j \neq i, \quad (4)$$

где  $x_i, x_j$  — усредненные за несколько часов значения показателя качества воздуха в ячейке карты  $i, j$ ;  $w_{i,j}$  — пространственный вес для пары объектов  $i, j$ ;  $n$  — общее число ячеек карты.

Оценка  $Z_G$  определяется по формулам:

$$Z_G = \frac{G - E[G]}{\sqrt{V[G]}}, \quad (5)$$

$$\text{где } E[G] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{n(n-1)}, \quad \forall j \neq i, \quad (6)$$

$$\text{где } V[G] = E[G^2] - E[G]^2, \quad (7)$$

<sup>2</sup> About ArcGIS. Mapping & Analytics Platform // Esri. 2018. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>

<sup>3</sup> Welcome to the QGIS project! // QGIS. 2018. Режим доступа: <https://www.qgis.org/en/site/>

$$\text{где } E[G^2] = \frac{A+B}{c}, \quad (8)$$

$$\text{где } A = D_0 \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^2 + D_1 \sum_{i=1}^n x_i^4 + D_2 \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad (9)$$

$$\text{где } B = D_3 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i^3 + D_4 \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^4, \quad (10)$$

$$C = \left[ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \right]^2 n(n-1)(n-2)(n-3), \quad (11)$$

$$D_0 = (n^2 - 3n + 3)S_1 - nS_2 + 3W^2, \quad (12)$$

$$\text{где } D_1 = - \left[ (n^2 - n)S_1 - 2nS_2 + 6W^2 \right], \quad (13)$$

$$\text{где } D_2 = - \left[ 2nS_1 - (n+3)S_2 + 6W^2 \right], \quad (14)$$

$$\text{где } D_3 = 4(n-1)S_1 - 2(n+1)S_2 + 8W^2, \quad (15)$$

$$\text{где } D_4 = S_1 - S_2 + W^2, \quad (16)$$

$$\text{где } W = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} \right); \quad (17)$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n (w_{i,j} + w_{j,i})^2; \quad (18)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1, i \neq j}^n w_{i,j} + \sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2. \quad (19)$$

### База знаний системы проведения вычислительного эксперимента

Структура базы знаний системы проведения вычислительного эксперимента описывается следующими кортежами:

$$P_e = \langle x, y, T, K, I, R, A \rangle; \quad (20)$$

$$O = \langle x, y, \{ \langle T, \{ K \} \rangle \} \rangle; \quad (21)$$

$$P_o = \langle O, \{ \langle T, A, I, \{ K, R \} \rangle \} \rangle, \quad (22)$$

где  $P_e$  — единичный прецедент, описывающий потребности отдельного гражданина в информации о качестве воздуха, а также структуру сообщения, которое можно адресовать отдельному гражданину;  $O$  — объект, учреждение или мероприятие; в учреждении могут в разные моменты времени находиться различные категории граждан;  $P_o$  — прецедент объекта, описывающий потребности учреждения в информации о качестве воздуха;  $x, y$  — координаты на карте;  $T$  — момент времени в формате гггг.мм.дд чч;  $K$  — категория гражд-

дан с точки зрения чувствительности к загрязнению;  $I$  — оценка экологической ситуации по шкале показателя качества воздуха;  $R$  — рекомендации для указанной категории граждан;  $A$  — флаг активности прецедента, устанавливаемый в случае неблагоприятной экологической обстановки.

В ходе выполнения исследований были разработаны программные модули:

1. Модуль подготовки файла параметров источников загрязнения.
2. Модуль запуска компонентов системы Calpuff [10].
3. Модуль экспорта карт концентраций из бинарного выходного файла Calpuff.
4. Модуль преобразования карт концентраций в формат QGIS.
5. Модуль расчета значений показателя качества воздуха AQI.
6. Модуль наполнения базы знаний из адресного реестра РФ.
7. Модуль получения рекомендаций внутри участков возможной неблагоприятной экологической ситуации.

На рисунке 1 представлена концептуальная схема метода определения участков с неблагоприятной экологической обстановкой.

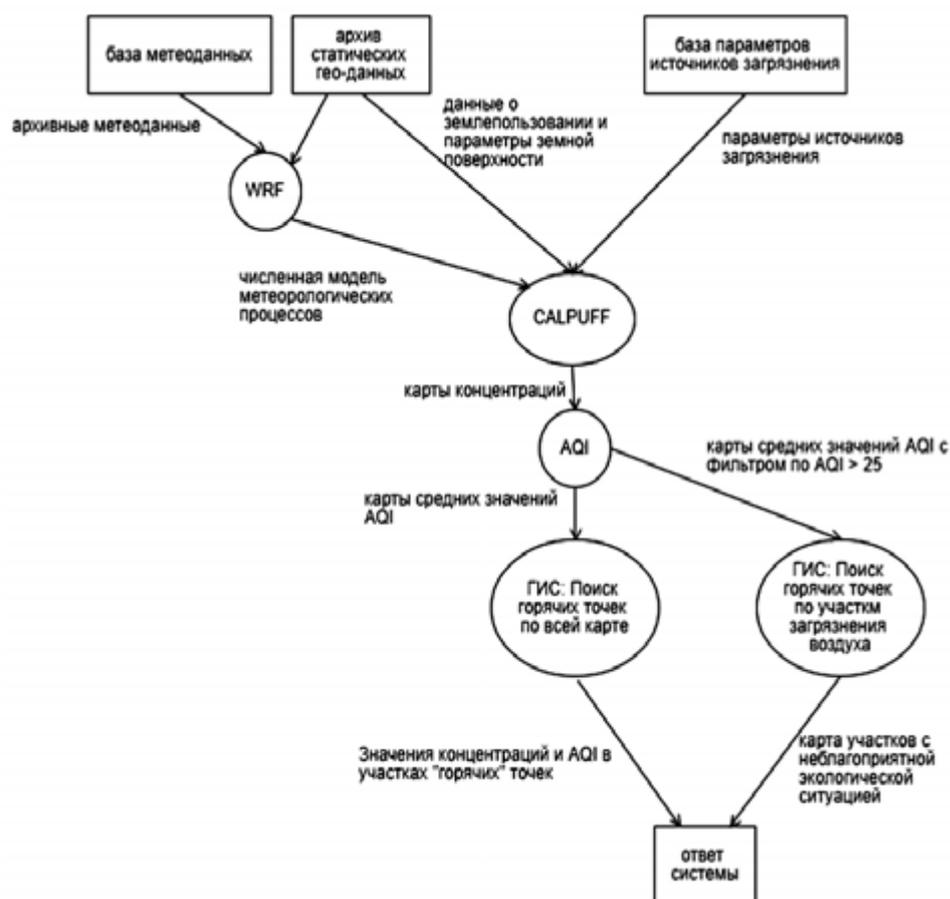


Рис. 1. Концептуальная схема метода определения участков с неблагоприятной экологической обстановкой

Концептуальная схема системы подразумевает использование метода горячих точек два раза. При первом запуске в поиске участвуют все точки на карте и алгоритм Гетиса-Орда определит все участки с загрязнением воздуха. Пример работы алгоритма приведен на рис. 2.

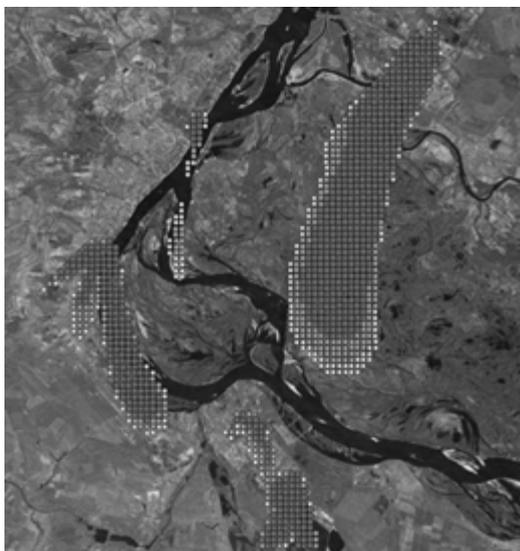


Рис. 2. Пример работы алгоритма поиска горячих точек по всей карте

При втором запуске точки с отсутствующим или очень низким значением AQI отфильтровываются и поиск горячих точек происходит уже внутри участков с повышенным AQI. Пример продолжения работы алгоритма приведен на рис. 3.

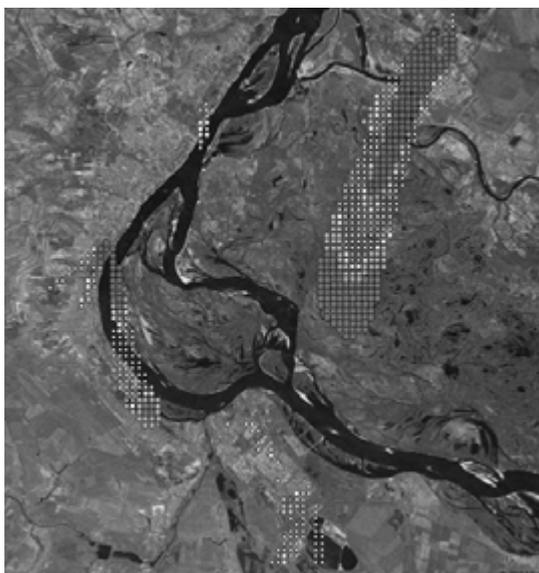


Рис. 3. Пример продолжения работы алгоритма поиска горячих точек внутри участков с повышенным загрязнением

Темными точками на рисунке помечены статистически значимые участки с повышенным загрязнением воздуха за период 8 часов, т. е. горячие точки. Светлыми точками на карте показаны «холодные» точки внутри участков с повышенным загрязнением, которые в рамках задачи экологического мониторинга не имеют особой ценности. Таким образом, пользователю системы, например экологическому комитету, необходимо обратить внимание на участки, помеченные темными точками. Благодаря использованию показателя качества воздуха AQI пользователь сможет получить информацию о том, какие группы граждан подвержены негативному воздействию на здоровье и какие меры можно предпринять для уменьшения риска.

#### **Заключение**

Для того чтобы описать эффект от внедрения комплекса мер экологического развития, недостаточно одних значений концентраций, и даже визуализация данных в виде контурных линий не будет понятна лицам, принимающим решения.

Использование показателей качества воздуха в составе систем имитационного моделирования позволит заметно повысить информативность результатов моделирования.

Использование баз прецедентов, т. е. сравнение ситуации на конкретных объектах и мероприятиях с использованием показателей качества воздуха позволит описывать эффект от внедрения комплекса мер экологического развития на максимально понятном для граждан языке.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Sanzhapov B. Kh., Rashevskij N. M., Sinicyn A. A.* Analysis of Availability of Data Sets Necessary for Decision Making in Air Quality Assessment // Materials Science and Engineering : Conference Proceedings of International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2017). 21—22 September 2017, Chelyabinsk, Russian Federation. 2017. Vol. 262. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012187/pdf>
2. *Санжапов Б. Х., Сеницын А. А., Рашевский Н. М.* Подходы к информированию населения о результатах мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44(63). Ч. 2. С. 166—177.
3. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory disease / F. Dominici and other // JAMA. 2006. № 295. Pp. 1127—1134.
4. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study / F. Laden and other // Respir Crit Care Med. 2006. № 173. Pp. 667—672.
5. *Liang W., Wei H., Kuo H.* Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan // Environ Res. 2009. № 109. Pp. 51—58.
6. Long-term exposure to urban air pollution and myocardial infarction / M. Rosenlund and other // Epidemiology. 2006. № 17. Pp. 383—390.
7. *Wang X.* Spatial analysis of long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory mortality in Brisbane. Australia, 2008. URL: <http://eprints.qut.edu.au/16627/>
8. Particulate oxidative burden associated with firework activity / K. Godri and other // Environ Sci Technol. 2010. № 44(21). Pp. 8295—8301.
9. *Getis A., Ord J. K.* The analysis of spatial association by use of distance statistics // Geographical Analysis. 1992. № 24. Pp. 189—206.
10. *Санжапов Б. Х., Сеницын А. А., Рашевский Н. М.* Использование комплекса открытых программ WRF и Calpuff для моделирования рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере города Волгограда // Известия ВолГГУ. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. 2017. № 1(196). С. 46—49.

© *Рашевский Н. М., Санжапов Б. Х., Сеницын А. А., Барихашвили В. Р., 2019*

*Поступила в редакцию  
в январе 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Поддержка принятия решений при мониторинге качества атмосферного воздуха на селитебной территории / Н. М. Рашевский, Б. Х. Санжапов, А. А. Синицын, В. Р. Барихашвили // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 206—214.

*Об авторах:*

**Рашевский Николай Михайлович** — старший преподаватель кафедры математики и информационных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, rashevsky.n@gmail.com

**Санжапов Булат Хизбуллович** — д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой математики и информационных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sbkh@mail.ru

**Синицын Антон Андреевич** — аспирант кафедры математики и информационных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sinicin2008@gmail.com

**Барихашвили Виталий Робизонович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, vitaliy1994@mail.ru

***Nikolai M. Rashevskii, Bulat Kh. Sanzhapov, Anton A. Sinitsyn, Vitaliy R. Barikhashvili***

***Volgograd State Technical University***

## **SUPPORTING DECISION MAKING FOR MONITORING THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR AT RESIDENTIAL TERRITORY**

This article presents problems in the field of air monitoring in Russia. A formal model of presentation of air quality indicators is presented. An approach is proposed to conduct a computational experiment to identify areas where it may be necessary to take measures to reduce the harmful effects of polluted air on the health of citizens. The structure of the knowledge base of system of the computational experiment is given.

**Key words:** decision making, air quality, geo-information systems, air quality indexes.

*For citation:*

Rashevskii N. M., Sanzhapov B. Kh., Sinitsyn A. A., Barikhashvili V. R. [Supporting decision making for monitoring the quality of atmospheric air at residential territory]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 206—214.

*About authors:*

**Nikolai M. Rashevskii** — Senior Lecturer of Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, rashevsky.n@gmail.com

**Bulat Kh. Sanzhapov** — Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor, the Head of Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sbkh@mail.ru

**Anton A. Sinitsyn** — Postgraduate student, Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sinicin2008@gmail.com

**Vitaliy R. Barikhashvili** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, vitaliy1994@mail.ru

УДК 628.511.1

**А. А. Сахарова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНОГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ КАК ИСТОЧНИКА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

В данной статье рассмотрена кремнистая микропористая осадочная порода — опока. Технологический процесс получения продукта сопровождается выделением пыли, которая является загрязнителем окружающей воздушной среды или отходом. Исследования показали, что дисперсный состав пыли опоки подчиняется усеченному логарифмически нормальному распределению массы частиц по эквивалентным диаметрам, но для каждого из месторождений эти функции можно рассматривать как случайные, для которых результаты конкретных измерений будут являться реализациями, а получаемые в сечениях случайные величины могут описываться нормальными законами распределения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** органогенные горные породы, опока, фракционный состав пыли, микрорентгеноспектральный анализ, микроскопический анализ, случайная функция.

Органогенные горные породы — это осадочные горные породы, состоящие из остатков животных и растительных организмов и продуктов их жизнедеятельности. Организмы обладают способностью концентрировать определенные соединения, образуя скелеты или ткани, которые сохраняются в ископаемом состоянии. По вещественному составу среди органогенных горных пород можно выделить: карбонатные, кремнистые, фосфатные, угли, горючие сланцы, нефть<sup>1</sup>.

1. Органогенные карбонатные породы (известняки) состоят из раковин фораминифер, кораллов, мшанок, брахиопод, моллюсков, водорослей и других организмов. Своеобразными их представителями являются рифовые известняки, слагающие атоллы, барьерные рифы и др., а также мел.

2. Кремнистые породы состоят из водного кремнезема (опала). Среди них выделяют<sup>2</sup> [1]:

а) диатомит — образован из панцирей диатомовых водорослей и отчасти из скелетов радиолярий и губок, между которыми осаждались тончайший ил и глина;

б) спонголиты — породы, содержащие обычно более 50 % спикул кремневых губок;

в) цемент у них кремнистый из опаловых округлых телец или глинистый, слегка известковистый, нередко включает вторичный халцедон;

в) радиоляриты — кремнистые породы, более чем на 30 % состоящие из скелетов радиолярии, которые в современных океанах образуют радиоляриевый ил;

г) трепел — горная порода преимущественно коллоидно-хемогенного происхождения, состоящая из мельчайших зернышек опала;

д) опока — твердая кремнистая порода, образованная в результате перекристаллизации и цементации диатомита или трепела. Микроскопически установлено, что опоки, как и трепелы, состоят из зернышек опала и остатков кремневых скелетов организмов, сцементированных кремнистым веществом.

<sup>1</sup> URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=655738#text>

<sup>2</sup> Там же.

3. Органогенные фосфатные породы не имеют большого распространения. К ним относятся ракушечники из фосфатных раковин силурийских брахиопод — оболид, скопления костей ископаемых позвоночных, известные в отложениях разного возраста, а также гуано — продукты разложения помета птиц, толщи которого накапливаются обычно на островах в условиях сухого климата.

4. Уголь является горючей породой и вместе с нефтью и природным газом является одним из трех самых важных ископаемых топлива.

5. Горючий сланец — полезное ископаемое, залегающее на сравнительно небольших глубинах, относится к группе твердых каустобиолитов и состоит из органического вещества и минеральной части. Промышленную ценность представляет как органическая, так и минеральная части сланцев, основными компонентами которой являются карбонаты и алюмосиликаты.

6. Нефть — органогенная горная порода. Исходным материалом для образования нефти является гнилостый ил, или сапропель, накапливающийся на дне застойных водоемов: озер, морских заливов, лагун, иногда также в прибрежных участках дна открытых морских бассейнов в результате гибели различных низших растений и животных, преимущественно планктонных микроорганизмов, населяющих воды морей и океанов.

Рассмотрим одного из представителей органогенных горных пород — опоку. Это кремнистая микропористая осадочная порода. Все больше она используется как сорбент и как добавка к строительным материалам [2].

На рисунке 1 приведены исследуемые образцы минерала опоки.



Рис. 1. Исследуемые образцы минерала опоки: *а* — Каменноярского месторождения Черноярского района Астраханской области; *б* — месторождение Волгоградской области

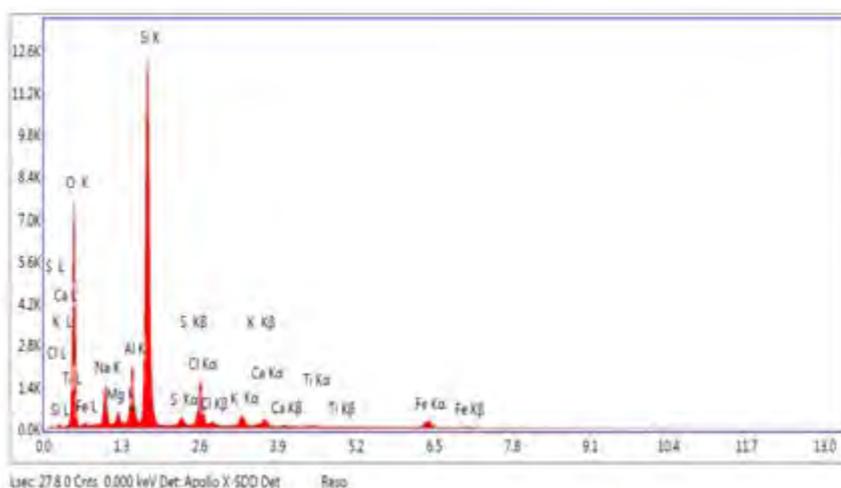
В настоящее время опока находит все большее применение в строительстве, появились технологические процессы, связанные с дроблением, отсеиванием, сортировкой, транспортировкой, упаковкой, пылеулавливанием и пр., где образуется пыль опоки, и важно знать ее характеристики [3—5].

Микроскопический анализ проб пыли опоки производился с использованием сканирующего электронного микроскопа Versa 3D Dual Beam. Элементный состав исследуемых образцов был изучен методом сканирующей просвечивающей электронной микроскопии (STEM). Режим высокого вакуума (Hi Vac) с применением различных детекторов: вторичных, обратно рассеянных и проходящих электронов (ETD, CBS, STEM) позволяет получать изобра-

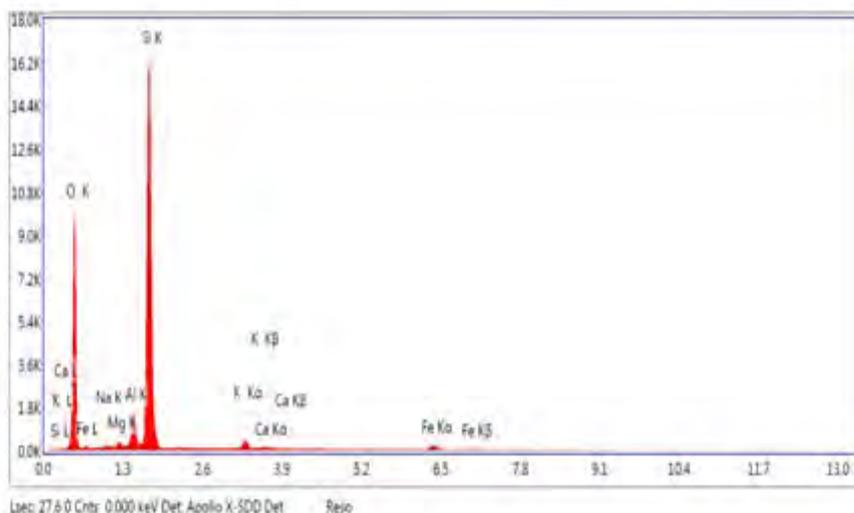
жения высокого разрешения металлических, композиционных и порошковых материалов. Дисперсный анализ исследуемых проб пыли производился по полученным в результате микроскопического исследования микрофотографиям с использованием специализированного программного обеспечения Image J [6, 7].

По полученным фотографиям с увеличением до 500 нанометров определяется дисперсный состав фракций пыли. Дальнейшая обработка сопровождается микрорентгеноспектральным анализом пыли в зависимости от содержания материала в каждой точке изучаемого образца.

На рисунке 2 представлен химический состав и структура материала, на основе количественного и качественного микрорентгеноспектрального анализа (EDS) [8, 9].



*a*



*b*

Рис. 2. Микрорентгеноспектральный анализ пыли опоки месторождения: *a* — Астраханской; *b* — Волгоградской области

В таблице 1 приведены элементный состав пыли опоки, а также их процентное соотношение молекулярной массы и веса двух образцов материала опоки.

Таблица 1

*Элементный состав пыли опоки различных месторождений  
Астраханской и Волгоградской областей*

Месторождение	Element	Weight (%)	Atomic (%)
Астраханская область	O	47,26	61,97
	Na	6,24	5,69
	Mg	1,02	0,88
	Al	4,64	3,61
	Si	28,7	21,43
	S	0,94	0,61
	Cl	5,38	3,18
	K	1,52	0,82
	Ca	1,16	0,61
	Ti	0,19	0,08
	Fe	2,95	1,11
Волгоградская область	O	55,15	69,05
	Na	0,28	0,25
	Mg	0,41	0,34
	Al	3,23	2,4
	Si	36,71	26,18
	K	1,44	0,74
	Ca	0,34	0,17
	Fe	2,45	0,88

Пыль — понятие, определяющее физическое состояние вещества — раздробленность его на мельчайшие частицы. Их взвесь в воздухе представляет собой аэрозоль, т. е. дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой — воздух. В атмосфере и воздухе помещений всегда содержится то или иное количество пыли [10—12].

Для исследования фракционного состава пыли опоки была использована методика микроскопического анализа [13—16] и компьютерной программы DUST 1 [17, 18].

Метод определения фракционного состава пыли основан на фотографировании увеличенных под микроскопом в 200—1000 раз исследуемых образцов пылевидных частиц, закрепленных на предметном стекле, с последующей обработкой фотографий с помощью графического редактора. Дальнейший расчет предполагает подсчет количества частиц на каждом снимке, и с учетом размеров частиц построены интегральные функции распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам в вероятностно-логарифмической системе координат. Данные действия выполняются в программе «SPOTEXPLORER V1.0».

На рисунке 3 представлены микрофотографии частиц пыли опоки для месторождений различных регионов.

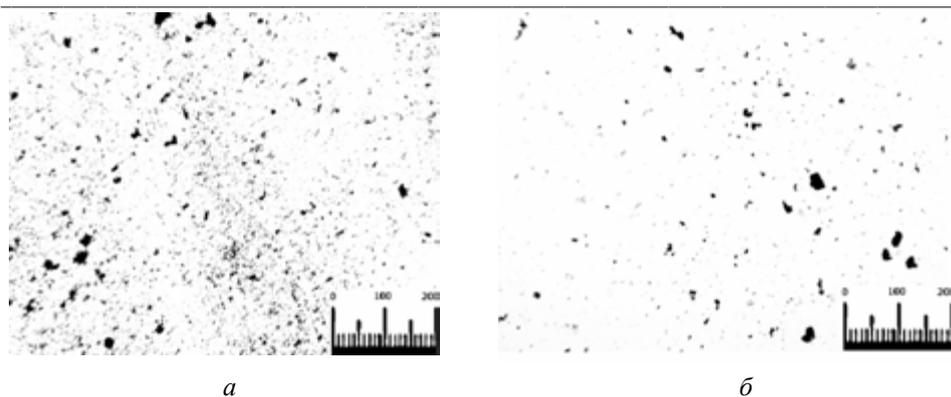


Рис. 3. Микрофотографии частиц пыли опоки: *а* — Каменноярского месторождения Черноярского района Астраханской области; *б* — месторождение Волгоградской области

Одновременно производилось исследование фракционного состава пыли опоки по методикам, изложенным в работах [19, 20] с помощью микроскопа монокулярного Микромед 1 вар. 1-20 и ручного счетчика частиц — HANDHELD 3016 IAQ.

Проведенный микроскопический анализ, результаты которого представлены на рис. 3, наглядно показывает, что, например, частицы опоки месторождения Волгоградской области больше в несколько раз и в среднем составляют 13 мкм, а Астраханской — 4 мкм, поэтому изучение Астраханской пыли опоки требует больших экспериментальных исследований и введения нормативов по загрязнению ей окружающей среды [21].

На основании экспериментальных данных получены диапазоны изменения интегральных функций распределения массы частиц пыли опоки по эквивалентным диаметрам для разных месторождений (рис. 4). При этом каждая отдельная проба дает функцию, которую можно рассматривать как реализацию некоторой случайной функции [22]. Эти интегральные функции можно рассматривать как случайные функции.

Как следует из результатов, измерения для материала опоки месторождения Астраханской области  $\delta_{50}$  изменяются в пределах от 3,9 мкм до 6,2 мкм, а Волгоградской — в пределах от 11 до 16 мкм. Следовательно, один и тот же материал в зависимости от особенности залегания грунта в разных областях имеет разные морфологические характеристики, что позволяет изучать, например, интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам как случайные функции.

В качестве примера представленные на рис. 4 кривые можно рассматривать как реализации этой случайной функции. Например, рассмотрим изменение случайной функции распределения массы частиц пыли опоки по эквивалентным диаметрам: 1 — при размере частиц  $\delta = 2,5$  и 2 — при  $\delta = 10$ .

Авторами получены экспериментальные значения, по которым построены интегральные функции распределения доли массы частиц пыли опоки по эквивалентным диаметрам и которые являются реализациями случайных функций (рис. 5). По ним построены дифференциальные функции распределения случайных величин массовой доли пыли, полученных при фиксированных диаметрах частиц, например: 1 —  $\delta = 2,5$  мкм; 2 —  $\delta = 10$  мкм.

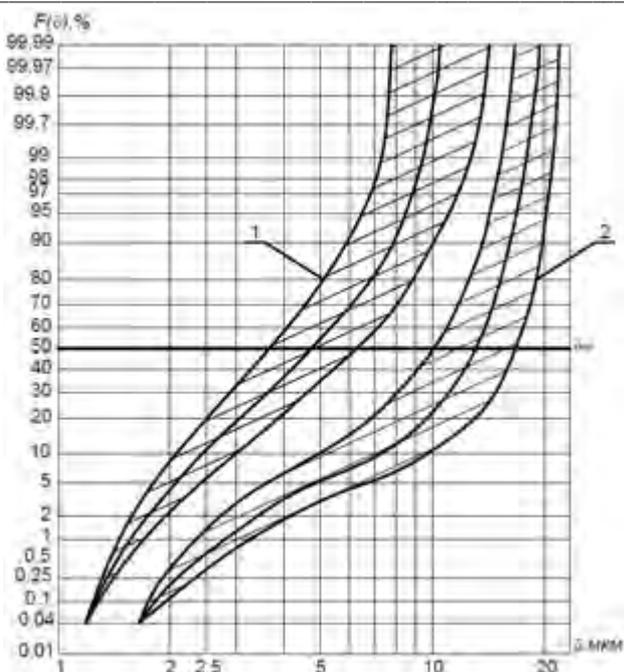


Рис. 4. Диапазоны изменения интегральных функций распределения массы частиц пыли опоки по эквивалентным диаметрам для двух месторождений: 1 — Каменно-ярское месторождение Черноярского района Астраханской области; 2 — месторождение Волгоградской области

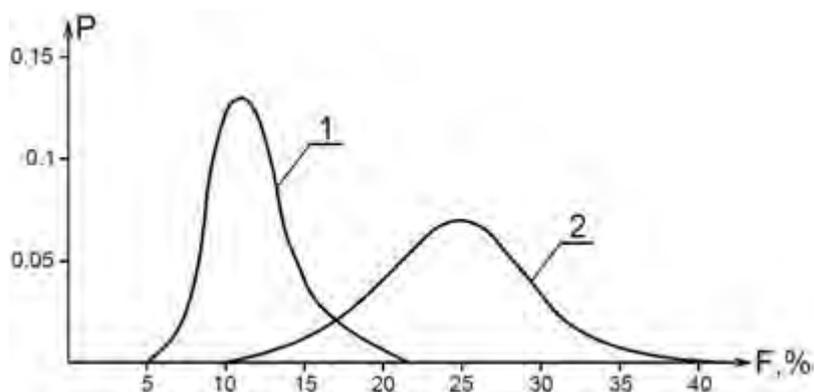


Рис. 5. Дифференциальные функции значений случайных функций распределения массы частиц пыли по эквивалентным диаметрам частиц пыли опоки при: 1 —  $\delta = 2,5$  мкм; 2 —  $\delta = 10$  мкм

На основании критерия  $\chi^2$  (рис. 5) можно утверждать, что законы распределения случайных величин, полученные в результате сечения случайных функций распределения массы частиц пыли по эквивалентным диаметрам при  $\delta = 2,5$  мкм и  $\delta = 10$  мкм (рис. 4), можно отнести к нормальным.

Сравнительный анализ элементного состава пыли опоки различных месторождений Астраханской и Волгоградской областей показал, что основополагающими элементами являются: Si, Na, Al, Ca, Fe. При этом Si изменяется от 4,68 до 32,21 % в распространенных строительных материалах, а в пыли

опок от 28,7 до 36,71 %. Самым существенным отличием является доля Са в материалах пыли опоки во всех месторождениях.

Кроме того, на основании полученных данных можно утверждать, что закон А. Н. Колмогорова [23] о логарифмическом нормальном распределении пыли для опоки выполняется лишь на следующих интервалах изменения эквивалентного диаметра  $\delta$ : 1,5; 7 — для месторождений Астраханской области и 3; 10 — для Волгоградской области. Из этого следует, что интегральные функции распределения массы частиц пыли по эквивалентным диаметрам в вероятностно-логарифмической системе координат на этих интервалах представлены прямой линией.

Таким образом, исследования пыли опоки показали, что ее дисперсный состав подчиняется усеченному логарифмически нормальному распределению массы частиц по эквивалентным диаметрам. При этом для каждого из месторождений эти функции можно рассматривать как случайные функции, для которых результаты конкретных измерений будут являться реализациями, а получаемые в сечениях случайные величины могут описываться нормальными законами распределения. Так, для  $\delta = 2,5$  мкм среднее значение интегральной функции распределения  $F(\delta)$  равно 12 %, а для  $\delta = 10$  мкм — 25 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов В. Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. М. : Недрабизнесцентр, 2007.
2. Опоки Астраханской области / Н. Н. Алыков и др. ; под ред. Н. М. Алыкова. Астрахань : АГУ, 2005. 138 с.
3. Азаров В. Н., Сахарова А. А. Aerodynamic Characteristics and Fractional Composition of the Flask Dust // All-Russian research-to-practice conference "Ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions" (EST 2018, 22—24 November 2018, Yurga, Russian Federation). Conference Series: Earth and Environmental Science. Publishing Ltd IOP, 2019. Vol. 224. № 1. 8 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/224/1/012027/pdf>.
4. Сахарова А. А. Применение органогенных горных пород в строительной индустрии // Современная наука и технический прогресс : материалы Международной науч.-практ. конф. Саратов, 2018. С. 102—104.
5. Сахарова А. А. Разновидности опоки как природного материала / под ред. В. Н. Азарова // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. Волгоград : Волгогр. гос. техн. ун-т. 2018. Вып. 9. С. 97—100.
6. Kuzmichev A. A., Azarov V. N., Kuzmichev A. V. The research of contamination regularities of historical buildings and architectural monuments by methods of computer modeling // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). MATEC Web of Conference. 2017. Vol. 129. 05002. Pp. 1—5. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712905002>
7. Азаров В. Н., Тертишников И. В., Маринин Н. А. Нормирование РМ10 и РМ2,5 как социальный стандарт качества жизни в районах расположения предприятий стройиндустрии // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 20—23.
8. Рентгеновская дифрактометрия : учеб. пособие / М. Г. Исаенкова и др. М. : МИФИ, 2007, 48 с.
9. Portable X-ray fluorescence spectrometry-capabilities for in situ analysis / Edited by P. J. Potts, M. West // RSC Publishing. UK : Cambridge, 2008. 291 p.
10. Азаров В. Н., Маринин Н. А., Бурханова Р. А. О дисперсном составе пыли в воздушной среде в производстве строительных материалов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 30. С. 256—260.
11. Азаров В. Н., Кошкарёв С. А. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 43(62). С. 161—174.

12. *Алексеев С. В., Пивоваров Ю. П., Янушанец О. И.* Экология человека : учебник. М. : Икар, 2002. 769 с.
13. *Ромашов Г. И.* Основные процессы и методы определения дисперсного состава промышленных пылей. Л. : ЛИОТ, 1938. 176 с.
14. *Градуc Л. Я.* Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии. М. : Химия, 1979. 232 с.
15. *Коузов П. А.* Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. 3-е изд., перераб. Ленинград : Химия, 1987. 264 с.
16. *Азаров В. Н., Сергина Н. М.* Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК). Деп. в ВИНТИ. № 1332-80002. 15.07.2002.
17. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014618468 от 21.08.2014 РФ DUST 1 / В.Н. Азаров и др. 2012.
18. О совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде / В. Н. Азаров и др. // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. 13 с. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976>
19. Aerodynamic Characteristics of Dust in the Emissions Into the Atmosphere and Working Zone of Construction Enterprises / V. N. Azarov and other // International Review of Civil Engineering. 2016. Vol. 7. №. 5. С. 132—136.
20. *Azarov V. N., Trohimchuk M. V., Sidelnikova O. P.* Research of Dust Content in the Earthworks Working Area / ed. by A. A. Radionov // Procedia Engineering : 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). 2016. Vol. 150. Pp. 2008—2012.
21. *Сахарова А. А., Лихонос А. В.* Исследование дисперсного состава пыли опoки / под ред. В. Н. Азарова // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. Волгоград : Волгогр. гос. техн. ун-т. 2018. Вып. 9. С. 101—104.
22. *Артюхин А. С., Пономарева Н. С.* Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания аппаратов ВЗП // Проблемы промышленной экологии: сб. материалов и науч. тр. молодых инженеров-экологов. Волгоград : ВолгГАСУ, 2006. С. 133—138.
23. *Колмогоров А. Н.* О логарифмически нормальном законе распределения частиц при дроблении // ДАН СССР. 1941. Т. 31. № 2. С. 1030—1039.

© Сахарова А. А., 2019

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Сахарова А. А.* Исследование особенностей органогенных минералов как источника пылевого загрязнения воздушной среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 215—223.

*Об авторе:*

**Сахарова Анастасия Андреевна** — старший преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Anastasiya A. Sakharova**

**Volgograd State Technical University**

## **STUDY CHARACTERISTICS OF ORGANIC MINERALS AS A SOURCE OF DUST AIR POLLUTION**

This article discusses siliceous microporous sedimentary rock — flask. The technological process of obtaining a product is accompanied by the release of dust, which is a polluter of the surrounding air environment or waste. Studies have shown that the dispersed composition of the dust of the flask obeys the truncated logarithmically normal distribution of the particle mass over

equivalent diameters, but for each of the fields, these functions can be considered as random, for which the results of specific measurements will be realizations, and the random variables obtained in sections can be described by normal distribution laws.

**Key words:** organogenic rocks, opoka, fractional composition of dust, X-ray microanalysis, microscopic analysis, random function.

*For citation:*

Sakharova A. A. [Study characteristics of organic minerals as a source of dust air pollution]. *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], 2019, iss. 2, pp. 215—223.

*About author:*

**Anastasiya A. Sakharova** — Senior Lecturer of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

УДК 621.548

**С. Д. Стрекалов<sup>а</sup>, Л. П. Стрекалова<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный аграрный университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ «ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ»**

**Статья подготовлена при поддержке РФФИ и администрации Волгоградской области,  
проект № 19-48-340004**

В статье рассмотрены вопросы экологизации современного энергоснабжения объектов, показаны роль и тенденция увеличения производства энергии на основе возобновляемых источников в общем объеме ее производства, развитие высокотехнологичного строительства под тепличное земледелие старопромышленных и городских территорий, решающих экологические проблемы и проблемы дефицита свободной площади; показано наметившееся направление современного ландшафтного дизайна по озеленению крыш мегаполисов, служащих источником дополнительных мест отдыха с улучшенной экологией и средством шумо- и теплоизоляции здания; при этом отмечается, что выращивание растений на «зеленой крыше» методом гидропоники способствует сокращению расходов на укрепление крыш и возможности регулирования процессов по уходу за растениями. Предложена оригинальная система выращивания растений защищенного грунта для урбанизированных территорий на «зеленых крышах», позволяющая роботизировать уход за выращиванием культур, при этом для энергообеспечения технологических процессов теплицы используется роторный ветродвигатель, установленный сверху над куполообразным каркасом, обладающим повышенной устойчивостью.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экология, энергообеспечение, возобновляемая энергия, альтернативная энергетика, урбанизированные территории, «зеленые крыши», теплицы, каркас теплицы.

Повышение качества жизни напрямую зависит от уровня обеспеченности электроэнергией, и с ростом мировой численности населения будет расти и потребность в ней.

Рост благосостояния жителей развивающихся стран и рост населения приведет к дополнительному росту энергопотребления. Потенциально к 2035 г. новыми потребителями станут: 1,3 млрд человек, не имеющих в настоящее время доступа к электроэнергии; 2,7 млрд человек, которые используют традиционные источники энергии; 1,6 млрд человек добавятся за счет мирового прироста населения, что и приведет к росту потребления электроэнергии на 40...50 %. В Международном энергетическом агентстве считают, что мировой спрос на энергию к 2040 г. увеличится на 37 %. Существенно изменится и структура мирового потребления — к этому сроку в лидеры выйдут страны Азии (прежде всего Китай), Африки и Ближнего Востока, где ожидается бурный экономический рост. Для его обеспечения потребуются колоссальные энергоресурсы [1].

Вторым фактором, приводящем к росту энергопотребления, является перспектива новой урбанизации. В 2012 году доля городского населения планеты превысила 50 %, и урбанизация в развивающихся экономиках продолжается ускоряющимися темпами. По оценке ООН, численность городского населения мира в 2016 г. достигла 4 млрд человек, что составило 54,5 % от общего населения.

С переходом экономики России в начале 90-х годов на рыночные условия в агропромышленном комплексе стали развиваться негативные процессы, приведшие к неравным экономическим отношениям между промышленными и сельскохозяйственными отраслями производства, резкому ухудшению финансового состояния сельхозтоваропроизводителей. Обвальное падение производства практически всех видов сельскохозяйственной продукции привело к снижению роли аграрного сектора. Действующие рыночные отношения способствовали сокращению неэффективного производства в отраслях АПК, что привело к наблюдаемой тенденции сокращения доли сельского населения.

Появление новых городов и рост старых формирует запрос на переход к городской энергетике нового поколения:

высокая концентрация мощностей;

запас прочности и возможность роста;

учет экономии дорогостоящих городских земель для размещения энергетических объектов.

Эти объекты должны обеспечивать приемлемую стоимость присоединения к инфраструктуре и дифференцированную по различным характеристикам стоимость электроэнергии для потребителей [2].

Таким образом, новый этап развития человеческой цивилизации XXI в. требует нового подхода к энергетике.

Родней Джон Аллам, лауреат Нобелевской премии мира в составе межправительственной группы экспертов по изменению климата, на форуме энергоэффективности и энергосбережения отмечал, что сейчас по всему миру наблюдается повышение средней температуры воздуха и другие нежелательные эффекты, связанные с деятельностью человека в этой сфере. Поэтому он призывает к рассмотрению такого вопроса, как повышение эффективности использования различных видов топлива, в том числе развитие направления энергоснабжения от возобновляемых источников. «Возобновляемые источники энергии будут представлены системами с низкой интенсивностью, требующими огромных площадей; для них будут строиться «солнечные фермы» в пустынях и морские ветровые электростанции. Данный сегмент энергетики должен составлять определенный процент от общего объема рынка. Я считаю, что 20 процентов — это разумный предел» [3].

Наблюдаемая тенденция производства «зеленой» энергии на основе возобновляемых источников показала увеличение на 8 % (с 127 до 138 ГВт) в 2016 г. Основными направлениями альтернативной генерации остаются ветро-, био- и солнечная энергетика, которые обеспечивают на данном этапе около 6 % мирового производства электроэнергии. Так, в Китае к началу 2016 г. было введено в работу 29 ГВт новых энерго мощностей в ветроэнергетике и 15,1 ГВт — в солнечной. В России, по данным Росстата, в 2016 г. общая мощность альтернативной энергии составила 906 МВт. В ближайшие 20 лет Минэнерго РФ намерено увеличить производство такой энергии в 10 раз. Так, например, в Крыму планируется подключение солнечной электростанции мощностью 110 МВт, наполовину покрывающей дефицит электроэнергии за счет возобновляемых источников [4].

Необходимо отметить, что себестоимость внедрения альтернативных источников ежегодно снижается.

С целью снижения отторгаемых территорий при организации энергоснабжения от солнечной или ветровой энергии возможно использование старопромышленных территорий — способ внедрения экологических инновационных технологий при создании многоцелевых площадок [5].

Согласно исследованиям Джереми Рифкина децентрализация энергетики и строительство малых мощностей позволит наладить горизонтальные связи по генерированию собственной «зеленой энергии» дома, в офисах и на производстве и делиться ею друг с другом в «энергетическом Интернете». По его словам, в связи с растущими энергетическими потребностями будет таким образом организован доступ к этому ресурсу значительно большему количеству человек [6]. Принципы функционирования такой инфраструктуры официально приняты Европейским сообществом и Китаем и поддержано ООН.

Академик РАСХН Д. С. Стребков отмечал, что направление распространения и использования возобновляемых источников энергии возможно при проектировании пространственно-архитектурных композиций, которые являются солнечными фасадами или солнечными крышами зданий, ферм, торговых сооружений [7].

Под тепличное земледелие рассматриваются варианты строительства высокотехнологичных «умных ферм» в Дубае, Израиле, Южной Кореи и др. странах на городских и старопромышленных территориях по технологиям, сокращающим потребление ресурсов. Потенциально такие проекты будут решать проблемы с изменением климата, нехваткой плодородной земли и дефицитом рабочей силы в сельских районах<sup>1</sup>. В последнее время получил развитие ландшафтный дизайн по озеленению крыш мегаполисов, когда решаются проблемы не только дефицита свободной площади, но и с учетом прочностных составляющих кровли служат источником дополнительных мест отдыха с улучшенной экологией, являются средством шумо- и теплоизоляции здания. При этом отмечается, что выращивание растений на «зеленой крыше» методом гидропоники способствует сокращению расходов на укрепление крыш и возможности регулирования процессов по уходу за растениями<sup>2</sup>.

Разработанная спиральная система земледелия для теплиц может быть рассмотрена как технология в проектах при строительстве зданий и сооружений, эксплуатирующихся также в качестве жилища, используя при этом «зеленые крыши». Спиральная система земледелия может быть ориентирована для производства продукции защищенного грунта с решением аспектов экологизации производственной деятельности, роботизации технологических процессов.

Для разрабатываемой спиральной системы земледелия и осуществления его взаимодействия с человеком необходимо составление алгоритма ее функционирования. Спиральная технология может быть реализована несколькими способами: жесткая (реечная, цепная и т. п.), эластичная (трос, кабель и т. п.), навигационная (JPS, система «навигатор»), которая осуществляется благодаря развитым информационным технологиям, появлению доступа к глобальным (спутниковым) системам позиционирования. В зависимости от техноло-

<sup>1</sup> URL: <https://www.agroxxi.ru/sp/city-farmer>

<sup>2</sup> URL: <https://7dach.ru/FrolovaEkaterina/zelenye-kryshi-i-ih-vidy-127875.html/>

гических требований в системе используются совмещенные операции по уходу за растениями защищенного грунта, комбинированные прицепные устройства [8, 9].

Движение рабочего агрегата происходит по спирали с постоянным шагом, равным шагу междурядий возделываемой культуры, а устройство для его технической реализации воплощено в виде зубчатой рейки, водила и шестерни (рис. 1, 2).

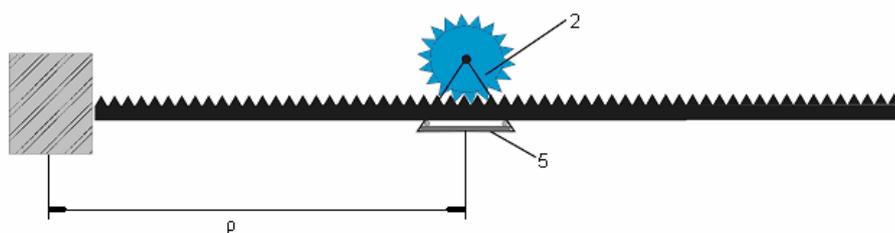


Рис. 1. Устройство для спиральной обработки. Вид сверху

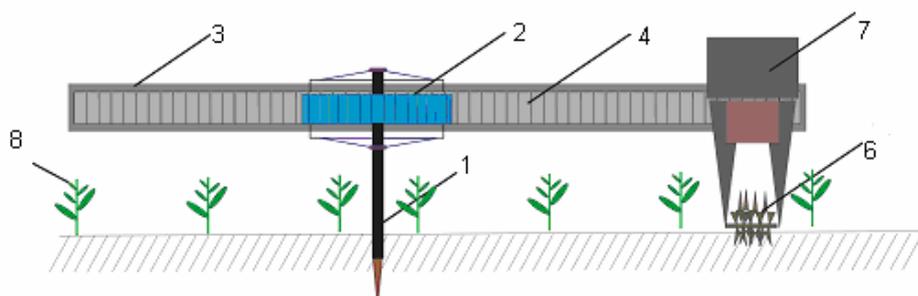


Рис. 2. Устройство для спиральной обработки. Вид сбоку

Реечная спиральная система состоит из оси 1, устанавливаемой неподвижно в центре участка, предназначенного под выращивание растений защищенного грунта. На оси жестко закреплена шестерня 2, размер которой определяется по зависимости  $L = 2\pi R$ ,  $R = L/2\pi$ , где  $L$  — ширина междурядий;  $R$  — радиус шестерни, в которую входит зубчатая рейка 3, имеющая такой же шаг, как и шестерня. Рейка закреплена на водиле 4 с возможностью обкатываться вокруг шестерни за счет оправки 5, обеспечивающей взаимодействие между шестерней и водилом. На конце водила может быть закреплен рабочий орган 6, направляемый по междурядью обрабатываемых культур с постоянной скоростью, приводимый в действие электродвигателем.

Перемещение рабочего органа  $\rho$  связано с линейной скоростью  $v_{po}$  и шириной междурядной зависимостью:

$$\rho = \sqrt{\frac{Lv_{po}t}{2\pi}}, \quad (1)$$

где  $\rho$  — выход водила;  $L$  — шаг спирали (ширина междурядий);  $v_n$  — скорость движения рабочего органа (м/с);  $t$  — время, с.

От энергоблока, находящегося в центре тепличного сооружения, в котором аккумулируется возобновляемая энергия от роторного ветродвигателя 7, установленного на оси 8 по центру над теплицей, осуществляется согласование получаемой возобновляемой энергии с блоком питания, режимы управления (рис. 3).

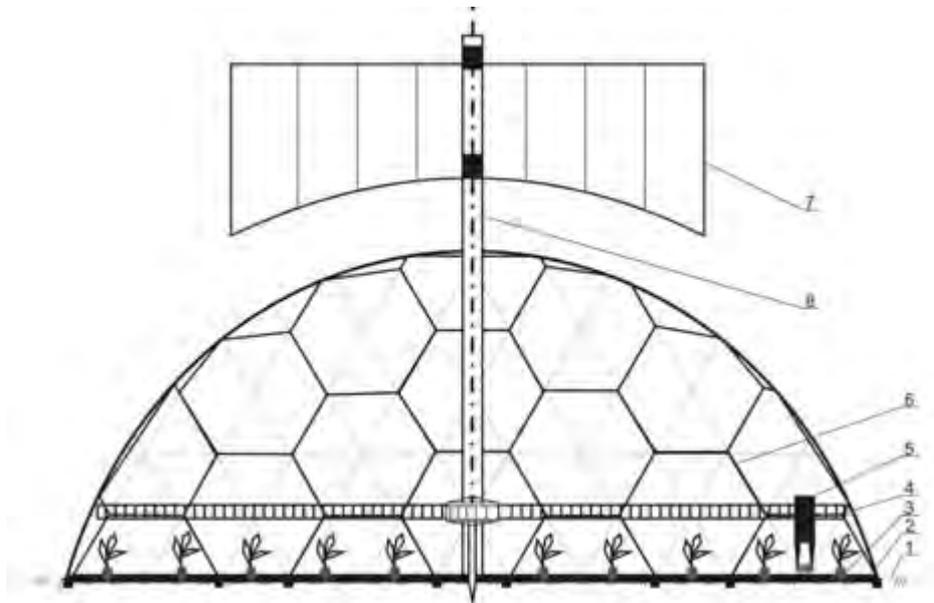


Рис. 3. Схема спиральной системы земледелия («зеленая крыша»): 1 — крыша строения; 2 — основание; 3 — растение в почвосмеси; 4 — рейка зубчатая; 5 — рабочий орган; 6 — ячейки каркаса теплицы; 7 — ветродвигатель; 8 — ось

Ограждающая конструкция теплицы «зеленая крыша» выполнена в форме геодезической сферы Фуллера [10]. Куполообразная форма каркаса со светопрозрачным материалом обеспечивает улучшение теплоэнергетических характеристик теплицы за счет оптимальных (азимутального и зенитального) притоков инсоляции, экономию материала на компоновке конструкций. Кроме того, такая конструкция теплицы будет обладать значительной прочностью, при этом экономическая эффективность ее эксплуатации возрастает при увеличении размеров.

В заключение отметим:

1. Рост населения и повышение его благосостояния с намеченными перспективами дальнейшей урбанизации ведет к дополнительному росту энергопотребления.

2. Климатические изменения и ухудшение экологии формируют переход к повышению энергоэффективности и энергосбережения, в том числе за счет использования возобновляемых источников энергии.

3. Развивающийся ландшафтный дизайн по озеленению крыш мегаполисов решает проблемы дефицита свободной площади, служащих источником дополнительных мест отдыха с улучшенной экологией, средством шумо- и теплоизоляции здания, а выращивание растений на «зеленой крыше» методом гидропоники способствует сокращению расходов на укрепление крыш.

4. Аккумуляция возобновляемой энергии, получаемой от ветродвигателя, установленного над «зеленой крышей», способствует повышению энергетической и экологической составляющих производственного процесса по выращиванию тепличной продукции на территории мегаполисов.

**Выводы:**

1. Предложенная куполообразная форма ограждающей конструкции теплицы «зеленая крыша» со светопрозрачным материалом обеспечивает улучшение теплоэнергетических характеристик теплицы, экономию материала на компоновке конструкции при значительной ее прочности.

2. Разработанная спиральная система земледелия может быть ориентирована для производства продукции защищенного грунта с решением аспектов экологизации производственной деятельности, автоматизации и роботизации технологических процессов по уходу за растениями.

3. Рассматриваемые варианты тепличных проектов на городских и старопромышленных территориях решают проблемы с изменением климата, нехваткой плодородной земли и дефицитом рабочей силы в сельских районах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зернова Т. В.* Энергетика будущего // *Инновации.* № 12(122). 2008.
2. *Frolov D. P., Strekalova A. S.* Strategic planning of ecological development of the regions of the South of Russia: principles, analysis, suggestions // *Regional economy: theory and practice.* 2015. № 19(394). Pp. 2—11.
3. *Родней Джон Аллам.* О том, как повысить эффективность и безопасность добычи энергии. URL: <https://roscongress.org/speakers/allam-rodni-dzhon/>
4. *Ретингер А.* Энергетика будущего: солнце, воздух и вода. 2017. URL: <https://iz.ru/news/722696>
5. *Стрекалов С. Д., Стрекалова А. С., Стрекалова Л. П.* Инновационно-демонстрационные площадки на основе экологичных волновых ветродвигателей: структура и роль в устойчивом развитии территории // *Альтернативная энергетика и экология.* 2015. № 13—14(177—178). С. 66—71.
6. *Рифкин Дж.* Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом. Нью-Йорк, 2014.
7. *Стребков Д. С.* Роль возобновляемой энергии в энергетике будущего // *Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология : труды V Международной науч.-техн. конф.* Ч. 4. 16—17 мая 2006 г.
8. Устройство ландшафтного земледелия : пат. № 172614 Рос. Федерации / С. Д. Стрекалов и др. ; заявл. 23.11.2016 ; опубл. 14.07.2017, Бюл. № 20.
9. Экологические аспекты энергообеспечения технологий ландшафтного земледелия за счет использования ветровой энергии / С. Д. Стрекалов и др. // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура.* 2017. Вып. 50(69). С. 432—439.
10. *Fuller R. B.* A Visionary Architect / The Green Lane™, Environment Canada's. URL: [http://biosphere.ec.gc.ca/The\\_sphere/Richard\\_Buckminster\\_Fuller-WS30956246-1\\_En.htm](http://biosphere.ec.gc.ca/The_sphere/Richard_Buckminster_Fuller-WS30956246-1_En.htm)

© *Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П., 2019*

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П.* Использование ветродвигателей для энергообеспечения экологически чистых «зеленых крыш» // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.* Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 224—230.

*Об авторах:*

**Стрекалов Сергей Дмитриевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры альтернативной энергетики и промышленной экологии, Волгоградский государственный технический университет

(ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, strekalov\_sergey@mail.ru

**Стрекалова Любовь Петровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры электротехнологии в сельском хозяйстве, Волгоградский государственный аграрный университет. Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26, strekalov\_sergey@mail.ru

**Sergei D. Strekalov<sup>a</sup>, Lyubov' P. Strekalova<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Volgograd State Agricultural University*

## USE OF WIND-DRIVES FOR ENERGY ENVIRONMENTAL PURE “GREEN ROOFS”

The article deals with the greening of modern energy supply facilities, shows the role and trend of increasing energy production based on renewable sources in the total volume of its production, the development of high-tech construction for greenhouse farming in old industrial and urban areas that solve environmental problems and problems of free space. The outlined direction of modern landscape design for the landscaping of roofs of megacities, which serve as a source of additional recreational sites with improved ecology and a means of sound and thermal insulation of the building, is shown; it is noted that growing plants on the “green roof” using hydroponics helps reduce the cost of strengthening the roofs and the ability to regulate the processes of caring for plants. An original system of growing plants of protected ground for urban areas on “green roofs” is proposed, which allows robotizing the care of growing crops, while using a rotary wind turbine installed above the dome-shaped frame of the greenhouse to power the technological processes of the greenhouse, highly resistant.

**Key words:** ecology, energy supply, renewable energy, alternative energy, urbanized areas, green roofs, greenhouses, greenhouse framework.

### *For citation:*

Strekalov S. D., Strekalova L. P. [Use of wind-drives for energy environmental pure “green roofs”]. *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], 2019, iss. 2, pp. 224—230.

### *About authors:*

**Sergei D. Strekalov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Alternative Energy and Industrial Ecology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, strekalov\_sergey@mail.ru

**Lyubov' P. Strekalova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Electrotechnics in Agriculture Department, Volgograd State Agricultural University. 26, Universitetskii Prospect, Volgograd, 400002, Russian Federation, strekalov\_sergey@mail.ru

УДК 628.316.12

**А. Г. Тимофеев<sup>а</sup>, П. А. Сидякин<sup>б</sup>, Д. В. Щитов<sup>б</sup>, Г. Л. Гиззатова<sup>в</sup>, Э. П. Доскина<sup>а</sup>,  
И. О. Гринёв<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске*

<sup>в</sup> *Волгоградский государственный аграрный университет*

## **МЕТОД УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИСАДОК**

Отходы производства присадок образуются в значительных количествах, но вопросы их утилизации слабо изучены. Основная причина в их составе. Эти отходы полностью поступают на карту вязких отходов полигона. Авторами разработан метод ликвидации карты вязких отходов производства присадок. Для отбора отходов из карты разработан специальный сборщик отходов. Исследовано комплексное влияние полигона отходов нефтеперерабатывающего завода, включающего в себя три секции пруда-накопителя, пруд-испаритель, пруд-накопитель синтетических жирных кислот, свалку твердых промышленных отходов, карту вязких отходов производства присадок на окружающую среду. Выявлено, что основным загрязняющим веществом являются нефтепродукты (углеводороды нефти), отмечается устойчивая тенденция их накопления в окружающей среде. Определены основные области назначения отходов производства присадок. Они применены в качестве специальных добавок при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций с повышенными требованиями по водопроницаемости, морозостойкости, в качестве пластифицирующих добавок в бетонные смеси, в качестве добавки, повышающей эластичность и растяжимость битумных покрытий. Внедрены отходы производства присадок в производство красок водно-композиционных общего и специального назначения. Отходы производства присадок использованы для рекультивации земель, загрязненных нефтью, а также очистки нефтесодержащих сточных вод.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** отходы переработки нефти, полигоны жидких отходов, мероприятия снижения воздействия отходов на окружающую среду, отходы производства присадок.

Проведенные исследования показали, что основным веществом, загрязняющим окружающую среду, являются углеводороды нефти, что объясняется спецификой производства и невысокой степенью утилизации нефтеотходов, особенно производства присадок. Эти отходы практически полностью поступают на карту вязких отходов промышленной свалки, имеющую ограниченный объем, что вызывает необходимость искать как пути утилизации отходов производства присадок, так и разрабатывать способы ликвидации самой карты по мере накопления нефтеотходов.

Отходы производства присадок (ОПП) представляют собой многокомпонентные системы, в состав которых входят как неорганические, так и органические составляющие, содержание которых зависит от степени чистоты исходного сырья и способа проведения синтеза основного продукта. Состав ОПП не постоянен во времени, причем суточное изменение содержания различных ингредиентов может изменяться до трех и более раз в сутки. Анализ состава и свойств ОПП осложняется тем, что в этих системах происходит физико-химическое взаимодействие минеральных и органических составляющих при различных температурах и давлениях.

Исследование состава ОПП включает в себя разделение их на составляющие и исследование каждой части с помощью комплекса физико-химических методов [1—5]. Содержание компонентов в ОПП определяли методами спек-

трального, атомно-адсорбционного, рентгенофлуорисцентного и химического анализов [2, 4, 6—11]. Для определения общего содержания органических веществ в ОПП использовали методы УФ и ИК спектроскопии [1, 3, 5].

Были исследованы отходы производства следующих присадок: ДФ-11, ЭФО, АФК, ВНИИ НП-360, ВНИИ НП-370, выпускаемых ООО «ЛУКОЙЛ-ВНП». Установлено содержание минеральной и органической составляющих, химический состав минеральной части, а также групповой углеводородный состав органической части. Органическую составляющую отделяли от минеральной экстрактивным способом [4, 12, 13, 14], она состоит из высокомолекулярных нефтяных углеводородов метанового, нафтенового и ароматического рядов (табл. 1).

Таблица 1

*Групповой химический состав органической фракции нефтеотходов от производства присадок*

Название группы углеводородов	Содержание в присадке, %				
	ВНИИ НП-360	ДФ-11	ВНИИ НП-370	ЭФО	АФК
1	2	3	4	5	6
Парафино-нафтеновые	14,9	22,2	26,7	36,0	17,4
Легкие ароматические	13,2	5,3	14,7	11,0	11,7
Средние ароматические	28,2	7,6	29,1	—	37,8
Тяжелые ароматические	14,6	40,8	9,2	2,8	8,0
Сумма ароматических	56,0	53,7	53,0	13,8	57,5
Смолы 1	12,6	7,4	6,8	17,8	6,4
Смолы 2	12,5	6,8	11,3	—	16,0
Сумма смол	25,1	14,2	18,1	—	22,4
Асфальтены	4,0	9,9	2,2	32,4	2,7

Отходы производства присадок содержат в своем составе кислородсодержащие вещества (кислоты и спирты). Экстракцию кислородсодержащих соединений проводили метанолом. Выход экстрактов составлял 76...82 % в зависимости от количества кислородсодержащих соединений в исходном продукте. Жирные кислоты извлекались на 32...47,2 %, а нейтральные кислородсодержащие соединения — на 41...47 %. В таблице 2 представлены данные о групповом составе экстрактов, выделенных из ОПП ДФ-11, ВНИИ НП-360, ВНИИ НП-370, ЭФО, АФК.

Следует отметить, что в ОПП при высоком содержании парафинов (порядка 17 %) наблюдается усиление процесса коагуляции, особенно под воздействием ультрафиолетовых лучей. Вероятно, обработка ультрафиолетовыми лучами парафинсодержащих систем приводит к укрупнению пространственных агрегатов кристаллов парафина в начальной стадии их образования, что типично для лиофильных коллоидных систем.

Состав неорганической части приведен в табл. 3.

Во всех присадках по технологии используется минеральное масло. Его содержание варьируется от 11 до 41 %. Решая вопрос утилизации ОПП, следует не только определить химический состав минерального масла в том или ином отходе, но также исследовать изменения его состава в результате взаимодействия присадок с компонентами минерального масла при высокой

(300...400 °С) температуре. Проведено изучение состава масляной фракции при термическом воздействии в нефтяном отходе присадки АФК, а также в смеси ОПП АФК и присадке АФК при содержании последней 5 % масс. Эксперименты проводили на лабораторной циркуляционной микроустановке с анализом газообразных продуктов. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 2

Содержание кислородсодержащих соединений в ОПП и экстрактах, полученных из ОПП

Вид ОПП	Содержание кислородсодержащих соединений в ОПП, %			Содержание кислородсодержащих соединений в экстракте, %			
	всего	твердых кислот	нейтральных кислот	всего	твердых кислот	нейтральных кислот	содержание парафина I и II
1	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
ДФ-11	30,9	9,7	21,2	76,3	33,3	43,0	17,0
ЭФО	37,3	—	—	79,2	32,5	45,7	17,1
ВНИИ НП-360	42,8	14,4	33,4	78,9	40,9	38,0	13,9
ВНИИ НП-370	47,8 <	14,4	33,4	78,9	40,9	38,0	13,9
АФК	55,5 '	24,1	31,4	81,2	47,2	34,0	12,1

Таблица 3

Состав минеральной части ОПП

Название элементов, веществ	Содержание в присадке, %				
	ВНИИ НП-360	ДФ-11	ВНИИ НП-370	ЭФО	АФК
1	2	3	4	5	6
Ca <sup>2+</sup>	—	1,93	14	—	18,6
Mg <sup>2+</sup>	—	1,2	—	—	—
Al <sup>3+</sup> , AlCl <sub>3</sub>	—	—	—	—	11,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	49,55	—	—	—
Ba <sup>2+</sup> , Ba(OH) <sub>2</sub>	23,57	—	—	2,7	—
S <sup>2+</sup>	2,45	5,2	до 8	3,42	—
Zn <sup>2+</sup>	21,37	4,3	—	13,4	—
P <sup>5+</sup>	5,11	3,89	—	2,7	—
Si <sup>4+</sup> , SiO <sub>2</sub>	—	8,1	—	—	—

Для оценки химического состава отхода использовались показатели, характеризующие структуру средней молекулы продукта: коэффициент смолообразующей способности; доля углерода в ароматических кольцах. Эти показатели определяли спектральными методами. Доля углерода в ароматических структурах для ОПП АФК составила 14,14, для присадки АФК — 22,57, а для их смеси — 15,98. Коэффициенты смолообразующей способности оказались равными 1,24; 1,66; 1,31 для ОПП АФК, присадки АФК и их смеси соответственно.

Состав масляной фракции ОПП АФК

Показатель	ОПП АФК	Смесь ОПП АФК и АФК
1	2	3
Молекулярная масса	764	639
Элементарный состав, % масс.:		
Углерод	85,94	87,1
Водород	11,88	9,91
Групповой углеводородный состав, % масс.:		
Парафино-нафтеновые	44,9	6,6
Ароматические:		
легкие	8,3	6
средние	3,6	10,2
тяжелые	16	41,4
Смолы	20,5	28,5
Асфальтены	6,7	7,3

Термогравиметрическое изучение термолита ОПП АФК и его смеси с присадкой АФК было проведено на дериватографе системы «Паулик-Эрден» в неизотермическом режиме с линейной скоростью нагрева 10 °С/мин в среде гелия.

Твердые остатки, полученные после термической деструкции, были проанализированы на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-2». В качестве показателя степени упорядоченности кристаллитов было использовано межслоевое расстояние  $d_{002}$ . Установлено, что добавка присадки АФК при 450 °С не оказывает влияния на структуру кристаллитов. С повышением температуры деструкции до 475 °С  $d_{002}$  уменьшается от 3,508 до 3,481 А, размер кристаллита увеличивается от 27 до 29 А.

Таким образом, при увеличении температуры происходит усиленное смолообразование отхода, который можно перевести в твердый остаток при добавлении присадки (до 5 % масс.).

Проведен анализ состава и свойств ОПП, подвергшихся длительной термообработке. Исследования проводили на образцах нефтеотходов, отобранных с технологических установок по производству присадок ЭФО и ВНИИНП-370 после термообработки при температуре 300 °С в течение 10 часов.

Групповой углеродный состав определяли сочетанием методов ректификации и хроматографии [4, 15—19]. Результаты приведены в табл. 5.

Исследуемые образцы подвергали вакуумной перегонке с отбором узких фракций, вскипающих в пределах, °С: н. к. — 350; 350...370; 370...400; 400...425; 425...450; 450...475; 475 — к. к. Групповой углеводородный состав полученных узких фракций нефтеотходов исследовали методом жидкостно-вытеснительной хроматографии (табл. 6).

Анализ данных химического состава исследуемых ОПП показал зависимость состава от температуры. С повышением пределов вскипания узких фракций изменяется их групповой углеродный состав, снижается доля парафинонафтеновых углеводородов, одновременно повышается содержание тяжелой ароматики и смол. Содержащиеся в нефтеотходах асфальтены в процессе вакуумной перегонки концентрируются в остаточной фракции, вскипающей выше 475 °С.

Таблица 5

Состав масляной фракции присадок ЭФО, ВНИИНП-370 после термообработки

Показатели	Вид ОПП	
	ЭФО	ВНИИНП-370
1	2	3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	921	923
Содержание серы, %	0,35	0,90
Фракционный состав, перегоняется до, °С		
350	17	4
400	42	20
450	67	43
500	82	58
525	86	65
групповой углеводородный состав, %		
парафино-нафтеновые	55,6	41,4
ароматические:		
легкие	5Д	10,8
средние	10,8	11,4
тяжелые	158	23,0
смолы	11,0	116
асфальтены	11,7	2,0

Таблица 6

Состав узких фракций масла в отходах присадок ЭФО, ВНИИНП-370 после термообработки

Пределы вскипания узких фракций, °С	Парафино-нафтеновые	Ароматические			Смолы		Асфальтены
		легкие	средние	тяжелые	бензольные	спирто-бензольные	
1	2	3	4	5	6	7	8
ЭФО							
350...370	64,7	8,4	8,7	11,7	1,9	46	—
370...400	49,4	16,7	8,2	12,6	2,5	10,6	—
400...425	60,0	9Д	9,0	13,1	1,45	7,4	—
425...450	66,9	8,8	3,9	12,9	2,4	5,1	—
450...475	56,3	11,3	5,5	16,0	4,2	6,7	—
Выше 475	25,3	4,4	1,9	31,6	13,8	20,6	2,4
ВНИИНП-370							
326...350	57,6	6,5	13,7	5,3	0,9	16	—
350...375	58,1	7,4	11,9	9,0	1Д	12,5	—
375...400	51,5	12,0	15,3	16,0	1,7	2,6	—
400...425	48,2	12,2	13,3	12,8	2,1	11,4	—
425...450	95,1	13,9	7,9	14,6	4,7	23,8	—
450...475	38,1	14,4	8,8	24,3	2,7	11,7	—
Выше 475	13,9	6,0	2,3	39,8	16,2	18,0	3,8

Таким образом, на основании изложенного сформулированы следующие выводы:

- 1) исследован состав отходов производства присадок ДФ-11, ЭФО, АФК, ВНИИМП-360, ВНИИМП-370;
- 2) установлено содержание минеральной и органической составляющих, химический состав минеральной, групповой состав органической части;
- 3) установлено содержание кислородосодержащих соединений;
- 4) проведено изучение состава масляной фракции при термическом воздействии в нефтеотходах производства присадок;
- 5) установлено, что при увеличении температуры происходит усиленное смолообразование отхода, который можно перевести в твердый осадок при добавлении присадка.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Серегина И. Ф., Окина О. И., Дистанов А. А.* Спектрофотометрическое определение нефтепродуктов в почвах // Аналитическая химия. 1999. № 4. С. 434—440.
2. *Скуг Д., Уэст Д.* Основы аналитической химии. М. : Мир, 1980. 30 с.
3. *Фрязинов В. В., Колбин М. А., Васильева Р. В.* Исследование спектральными методами молекулярной структуры остаточных нефтепродуктов // Сб. научных трудов БашНИИМП. Уфа : НИИИПД977. С. 5—15.
4. *Шаталов А. Я., Маршаков И. К.* Практикум по физической химии. М. : Высшая школа, 1968. 224 с.
5. *Фигурновский Н. А.* Седиментационный анализ. М. : Госхимиздат, 1968. 205 с.
6. *Кузьмина Э. Ф.* Спектрофотометрическая методика определения коксообразующей способности нефтяных остатков // Сб. научных трудов БашНИИМП. Уфа : НИИИПД977. С. 29—35.
7. Превентивные средства на основе нетканых материалов для предотвращения попадания отходов производства в окружающую среду / Н. В. Пузанова и др. // Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества. Черкизово : МГУ. 2002. С. 177—179.
8. *Самойленко Н. Н., Черкашина А. Н., Гуренко Л. П.* Модели прогнозирования загрязнения окружающей природной среды при использовании вторичных ресурсов // Гнтгров. техн. та енергсбережение. 2000. № 4. С. 26—30.
9. *Сулейменов Р. А.* Сравнительная характеристика выбросов в атмосферу предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности // Гигиена и санитария. 1997. № 1. С. 8—10.
10. *Соколов Л. И., Томилов А. Б.* Технология обезвреживания нефтесодержащих осадков // Международная науч.-техн. конф. «Проблемы экологии». Вологда : ВолгГТУ, 1999. С. 80—83.
11. *Халилов В. Ш., Гафуров Р. Р.* Технология утилизации нефтешламов // II Международный конгресс по управлению отходами. М. : СИБИКО, 2001. С. 270—271.
12. *Dismukes S. R., Schnell T. L.* Are You Prepared if EPA Demads an Inspection of Your Plants? // Hydrocarbon Process. 1999. № 8. Pp. 105—108.
13. *Fislher K., Norman V. S.* Studies of the Behavior and Fats of the polymer additives octadecyl-3 (3,5-di-t-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate and tri (2,4-di-t-butylphenyl) phosphite in the environment // Chemosphere. 1999. № 4. Pp. 611—625.
14. *Мьмрин В. А.* Утилизация промышленных отходов в строительстве как решение части экологических проблем // Экология промышленного производства. 1997. № 1—2. С. 22—27.
15. Обеспечение безопасности складирования отходов и стоков предприятий химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Шаталов и др. // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 3. С. 25—27.
16. *Яндушкин К. Н.* Исследования по созданию экологически чистого средства очистки почв от загрязнения нефтепродуктами // Нефтяная и газовая промышленность. Сер.: Защита от коррозии и охрана окружающей среды. 1997. № 3. С. 17—19.
17. *Turov Y. P., Goozniaeva M. Yu., Kadychagov P. P.* Data base of environmental organic contaminants for the regional chemical monitoring // Chimia. 1998. № 7—8. Pp. 391.

18. Gyula D. A Koolaj-feldolgozfs romyezet-vedelmi kerdesei a 16. 2001. № 31. Pp. 15—8.

19. Diana Grenzttn und Möglichkeiten eines anlagenbezogenen Umweltmonitorings / A. Hugo and other // Chem-Ing.-Techn. 2000. № 9. Pp. 952—953.

© Тимофеев А. Г., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Гиззатова Г. Л.,  
Доскина Э. П., Гринёв И. О., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Метод утилизации отходов при производстве присадок / А. Г. Тимофеев, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, Г. Л. Гиззатова, Э. П. Доскина, И. О. Гринёв // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 231—238.

Об авторах:

**Тимофеев Антон Георгиевич** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, antonio1805@yandex.ru

**Сидякин Павел Алексеевич** — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры строительства, Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, sidyakin\_74@mail.ru

**Щитов Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой строительства, Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, skfu.pgs@gmail.com

**Гиззатова Гульнара Линуровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры химии, пищевой и санитарной микробиологии, Волгоградский государственный аграрный университет. Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26, gulnaragizz@yandex.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](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Гринёв Игорь Олегович** — магистрант, кафедра водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Anton G. Timofeev<sup>a</sup>, Pavel A. Sidiyakin<sup>b</sup>, Dmitrii V. Shchitov<sup>b</sup>, Gul'nara L. Gizzatova<sup>c</sup>,  
El'vira P. Doskina<sup>a</sup>, Igor' O. Grinev<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Volgograd State Technical University

<sup>b</sup>Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk

<sup>c</sup>Volgograd State Agricultural University

## RECYCLING METHOD BY PRODUCTION OF ADDITIVES

The waste of additives production is formed in significant quantities, but the issues of their utilization are poorly studied. The main reason for their composition. These wastes are completely transferred to the map of viscous waste of the landfill. The authors developed a method of elimination of viscous waste maps of additives production. A special waste collector has been developed for the selection of waste from the map. The complex influence of the waste landfill of the refinery, which includes three sections of the storage pond, the evaporator pond, the storage pond of synthetic fatty acids, the dump of solid industrial waste, the map of viscous waste of additives production on the environment was studied. It is revealed that the main pollutant are oil products (petroleum hydrocarbons), there is a steady trend of their accumulation in the environment. The main area of destination of production waste additives. They are used as special additives in the manufacture of concrete and reinforced concrete products and structures with increased requirements for water permeability, frost resistance, as plasticizing additives in concrete mixtures, as an additive that increases the elasticity and extensibility of bitumen coatings. Introduced waste production additives in the production of

water-composite paints for general and special purposes. The waste of additives production is used for reclamation of oil contaminated lands, as well as for treatment of oily waste water.

**Key words:** waste oil refining, liquid waste landfills, measures to reduce the impact of waste on the environment, waste production of additives.

*For citation:*

Timofeev A. G., Sidyakin P. A., Shchitov D. V., Gizzatova G. L., Doskina E. P., Grinev I. O. [Recycling method by production of additives]. *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], 2019, iss. 2, pp. 231—238.

*About authors:*

**Anton G. Timofeev** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, antonio1805@yandex.ru

**Pavel A. Sidyakin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Construction Department, Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina St., Stavropol', 355009, Russian Federation, sidyakin\_74@mail.ru.

**Dmitrii V. Shchitov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of Construction Department, Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina St., Stavropol', 355009, Russian Federation, skfu.pgs@gmail.com

**Gul'nara L. Gizzatova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Chemistry and Sanitare Microbiology Department, Volgograd State Agricultural University. 26, Universitetskii Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation, gulnaragizz@yandex.ru

**El'vira P. Doskina** — 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

**Igor' O. Grinev** — Master's Degree student, Department of Water Supply and Disposal, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv\_vgasu@mail.ru

УДК 628.349

**В. И. Чурикова, А. Б. Голованчиков, Г. В. Чичерина**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕРОВОДОРОДА НА ОБЪЕКТЫ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Рассмотрен прогноз учета экологического воздействия сероводорода как продукта жизнедеятельности городской инфраструктуры на состояние воздушной среды и объекты городского хозяйства.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экология города, экологический ущерб, сероводород.

Важнейшим фактором, обеспечивающим качественную жизнь, является качество атмосферного воздуха окружающей среды в жизненном пространстве, в частности города. Интенсивность жизненного пространства обусловлена плотностью промышленного производства, приходящегося на единицу городской площади, влияющего на качество воздушной среды, что в конечном итоге сказывается на здоровье городского населения. При этом содержание вредных для здоровья человека веществ достигает и превышает предельно допустимые нормы в несколько раз [1, 2]. Источниками загрязнения воздуха в городе могут быть поверхностные экотоксикаты (углеводороды, окислы серы и азота, дисперсии пыли различной этиологии). Вместе с этим при наличии развитой канализационной системы городская воздушная среда получает выбросы определенного количества сероводорода как продукта биологической деградации городских сточных вод под действием жизнедеятельности сульфидредуцирующих бактерий. Эрозия подземных бетонных канализационных труб (рис. 1), вызванная внешней и внутренней агрессивной средой, значительно повреждает их, что приводит к оседанию грунта, утечке сточных вод или к иным несчастным случаям. Выброс сероводорода в системах канализации бытовых отходов связан с рядом проблем: биогенной коррозией бетонных конструкций, прямым выделением сероводорода в городскую атмосферу с образованием неприятных запахов и токсичным действием как на работников, обслуживающих городские канализационные системы, так и на жителей города [3].



Рис. 1. Фрагмент металлической канализационной трубы, подвергшейся воздействию сероводорода

В канализационных трубопроводах количество растворенного в сточной воде сероводорода возрастает при повышении величины рН, что способствует увеличению выделения его в газовую среду канализации. По жидкой пленке бетонной поверхности трубопровода сероводород входит во взаимодействие с аэробной бактерией *Thioba-*

*S. l.* *concretivorus*, активной в кислых растворах до 7 % серной кислоты, образующейся в результате реакции:



Серная кислота входит во взаимодействие с цементом бетона трубы, переводя их в растворимую форму. В результате по истечении определенного промежутка времени действие сероводорода приводит к серьезной коррозии стенок трубы, нарушая ее механические свойства. Бетонные и железобетонные трубы и конструкции не выдерживают гарантийного срока (20 лет), снижая его до 12,5 лет (на 62,5 %) [4]. Результатом коррозии являются аварии, масштабы которых могут составлять от метра до десятков километров канализационных систем, в результате чего возникают экологические проблемы функционирования всего городского хозяйства. В ходе процесса разрушения часть трубы снижается до уровня стока. Бетон деградирует в условиях атмосферы трубы до рыхлой массы. При этом рН этого слоя имеет значение 5,8...7,0, что меньше рН химической устойчивости исходного бетона (11,8...12,5)<sup>1</sup> [5]. Содержание сероводорода в атмосфере канализационного коллектора города составляет величину от значения 1 ПДК (8 часов) до 40,5 ПДК (16 часов), что создает условия накопления сероводорода в канализационной сети. Зависимость среднесуточного содержания сероводорода в воздухе над канализационным коллектором от времени суток см. в табл.

*Зависимость среднесуточного содержания сероводорода в воздухе над канализационным коллектором от времени суток*

Время суток	8	10	12	14	16	18	20
Содержание H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>	0,0072	0,0086	0,0187	0,0267	0,0324	0,0198	0,0126

Расчет экологического ущерба по учету состояния сероводорода в канализации Волгограда связан с оценкой общего содержания сероводорода в коллекторной канализационной сети, учитывая примерную длину сети порядка 500 км со средним диаметром трубы 0,25 м. Примем условие, что отношение объема жидкости к общему объему трубы  $k = 0,5$ . В этом случае общий объем воздуха в трубе:

$$V = V \cdot k,$$

где  $V$  — объем трубы, равный:

$$V = \pi \frac{d^2}{4} l,$$

где  $d$  и  $l$  — диаметр и длина цилиндра.

Объем, занимаемый воздухом в канализационной системе, будет равен:

<sup>1</sup> МДК 3-01.2001. Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов / Госкомитет по строительству от 06.04.2001. № 7.

$$V = 3,14 \frac{0,625}{4} \cdot 0,5 = 5 \cdot 10^5 = 12\,265,625 \text{ м}^3.$$

При средней концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в воздухе над жидкостью  $\approx 200 \text{ мг/м}^3$ :

$$m_{\text{H}_2\text{S}} = C_{\text{H}_2\text{S}} \cdot V = 0,2 \text{ г/м}^3 \cdot 6132,8 \text{ м}^3 = 1226,56 \text{ г}.$$

При аварийном выбросе на каждого жителя города приходится:

$$m_{\text{инд}} = \frac{1226,56}{10000} = 1226,56 \text{ г}.$$

Экологический эффект от предлагаемых мероприятий необходимо соотносить с экологическим ущербом от источника загрязнения до проведения природоохранных мероприятий<sup>2</sup>, которые рассчитываются по общему уравнению:

$$Y_{\text{до}} = y \cdot \sigma_{\text{общ}} = f \cdot m \cdot A,$$

где  $Y_{\text{до}}$  — годовой ущерб от загрязнения атмосферы одной тонной условного загрязнителя принимаемой равной  $Y \approx 2,4 \text{ \$/т}$ ;  $\sigma_{\text{общ}}$  — безразмерный коэффициент, характеризующий относительную опасность загрязнения территорий.

При нескольких территориях одного типа в % площадью  $S_i$ :

$$\sigma_{\text{общ}} = \sigma_1 (S_1 / S_{\text{общ}}) + \sigma_2 (S_2 / S_{\text{общ}}),$$

где  $\sigma_i$  — значения коэффициента для данной территории;  $a$  — безразмерный коэффициент, зависящий от характера загрязняющего вещества.

Для газов, с учетом степени очистки  $0 \approx 90 \%$ :

$$f = \frac{100}{100 + \Delta h \cdot h} \cdot \frac{4}{1 + V},$$

где  $V$  — средняя скорость атмосферы для данной местности. Для расчета равной  $\approx 3 \text{ м/с}$ .

Средняя дисперсия аэрозоли, у которых  $1 \text{ м/с} < u_{\text{сред}} \leq 20 \text{ м/с}$ :

$$75 \% \leq Q \leq 90 \%.$$

Принимая общую длину канализационного коллектора Волгограда 500 км, экономический ущерб при цене прокладки 1 км коллекторной трубы составляет 5403 руб./м. Гарантированный срок работы коллектора (20 лет) при действии сероводородсодержащей коррозии за счет разрушения сводной части коллектора сокращается до 12,5 лет (на 65 %).

Относительный экологический ущерб в этом случае составит 65 % от исходной стоимости метра коллекторной трубы:

$$5403 \text{ руб./м} \cdot 0,65 \cdot 500\,000 \text{ м} = 1\,755\,987\,500 \text{ руб}.$$

Использование разработанного устройства, позволяющего при использовании снижать содержание сероводорода до 95 % с учетом реальных условий

<sup>2</sup> Постановление Правительства РФ «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах от 13.09.2016 № 913».

снижения концентрации на 50 %, позволит снизить суммарный экологический ущерб до следующих показателей:

$$175\,597\,500 \cdot 0,5 = 877\,987\,500 \text{ руб.}$$

Отсюда — расчет экономической эффективности природоохранных мероприятий составит:

$$E = \frac{\Delta y - c}{k} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta y = y_1 - y_2$ ;  $y_1$  — ущерб от загрязнения биосферы до проведения природоохранных мероприятий;  $y_2$  — ущерб от загрязнения после проведения природоохранных мероприятий;  $c$  — текущие газовые загрязнения;  $k$  — количественные затраты на природоохранные мероприятия.

От загрязнения атмосферы:

$$\Delta y = 36\,344\,644,43 \cdot 8\,359\,728,2191 = 2\,798\,616,21 \text{ руб.}$$

Экономическая эффективность использования предложенного способа [6] составит:

$$E = \frac{(27986\,916,21 - 7\,500\,000)}{11\,500\,000} \cdot 100 \% = 178 \%.$$

На основании вышеизложенного следует, что сероводород, выделяющийся в ходе биологического разложения бытовых канализационных продуктов, приводит с течением времени к нарушению прочностных характеристик бетонных канализационных труб с последующим возникновением значительного экологического ущерба городскому хозяйству.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чжан Л., П. де Шривер, Б. де Гюссем. Химико-биологические технологии контроля выбросов сероводорода в канализационных системах // *Water Research*. 2008. № 42. С. 1—12.
2. Связь между концентрацией металла и коррозией в канализационных коллекторах округа Лос-Анджелес / Р. Л. Мортон и др. // *Water Pollut.* 1991. № 63. С. 789—798.
3. Голдобина Л. А., Орлов П. С. Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов и новые решения повышения стойкости стали коррозии // *Записки Горного института*. 2016. Т. 219. С. 459—464.
4. Уолтрип Г. Д., Снайдер Г. Е. Устранение запаха на шести основных очистных сооружениях // *WPCF*. 1985. С. 1027—1032.
5. Yongsiri C., Vollertsen J., Hvited T. Выброс сероводорода в канализационных сетях // *Water Sci. Technol.* 2004. № 50. С. 161—168.
6. Чурикова В. И., Голованчиков А. Б., Фомичев В. Т. Устройство для очистки газовых смесей от сероводорода : пат. № 170631 Рос. Федерации ; заявл. 08.11.2016 ; опубл. 03.05.2016, Бюл. № 13.

© Чурикова В. И., Голованчиков А. Б., Чичерина Г. В., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Чурикова В. И., Голованчиков А. Б., Чичерина Г. В. Учет экологического воздействия сероводорода на объекты городского хозяйства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 2(75). С. 239—243.

*Об авторах:*

**Чурикова Валерия Игоревна** — инженер кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [vachurikova@yandex.ru](mailto:vachurikova@yandex.ru)

**Голованчиков Александр Борисович** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, [pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

**Чичерина Галина Владимировна** — канд. техн. наук, доцент кафедры общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, Академическая, 1, [galinachicherina@rambler.ru](mailto:galinachicherina@rambler.ru)

**Valeriya I. Churikova, Aleksandr B. Golovanchikov, Galina V. Chicherina**

**Volgograd State Technical University**

## **ADDRESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE HYDROGEN SULFIDE MUNICIPAL FACILITIES**

The forecast of accounting for the environmental impact of hydrogen sulfide, as a product of urban infrastructure, on the state of the air environment and urban facilities.

**Key words:** city ecology, environmental damage, hydrogen sulfide.

*For citation:*

Churikova V. I., Golovanchikov A. B., Chicherina G. V. [Addressing the environmental impact of the hydrogen sulfide municipal facilities]. *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], 2019, iss. 2, pp. 239—243.

*About authors:*

**Valeriya I. Churikova** — Engineer of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [vachurikova@yandex.ru](mailto:vachurikova@yandex.ru)

**Aleksandr B. Golovanchikov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Processes and Instruments of Chemical and Food Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation, [pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

**Galina V. Chicherina** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of General and Nonorganic Chemistry Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [galinachicherina@rambler.ru](mailto:galinachicherina@rambler.ru)

УДК 711.4

**И. Н. Етеревская, Л. С. Петрова**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКИХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «МЕНТАЛЬНЫХ КАРТ»**

Дан ретроспективный обзор зарождения и развития понятия «ментальные карты» как метода исследования представлений о городском пространстве. Выявлены основные элементы морфологической структуры общественных пространств, сформированной на основе ментальных карт на примере территорий г. Волгограда. Описано использование метода ментальных карт для разработки исследовательской стратегии анализа городских открытых общественных пространств современного города и направлений их преобразования.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** городская среда, городские открытые общественные пространства, образ города, восприятие пространства, социология городского пространства, ментальные карты.

Одной из характерных особенностей на всем протяжении истории развития городских открытых общественных пространств является их высокая социальная значимость. Помимо утилитарных функций социально-культурные факторы активно влияют на формирование общественных пространств города. На сегодняшний день именно они стали особо важным элементом, определяющим качество городской среды, поэтому современной городской жизни должна соответствовать среда, наполненная актуальными яркими образами и разнообразными средовыми характеристиками. Город благодаря наличию общественных пространств нейтрализуют социальные, экономические, этнические различия между людьми, пытается преодолеть свойственное ему отчуждение жителей друг от друга, развивает чувство принадлежности к данному месту и сообществу, тем самым формируя городскую идентичность. Преобразование общественных пространств в современных городах направлено на доступность их для всех категорий горожан, независимо от их физических и финансовых возможностей, выравнивание стандартов и вовлечение горожан в управление городом.

Для возможности реновации общественного пространства необходимо рассматривать данное понятие не только на уровне архитектурных и градостроительных практик, но и в контексте социологии архитектуры, где социальные субъекты реализуют себя через архитектурные коммуникационные предложения с помощью застроенного «жизненного пространства», к которому они тяготеют, подстраиваются и под которое изменяются [1, 2]. Дж. Джекобс, исследуя роль городских общественных пространств [3], отмечала, что современный город живет и успешно развивается не благодаря реализации гениальных градостроительных теорий и архитектурных фантазий, а ввиду способности соответствовать изменяющейся социальной активности современного человека.

Следует отметить, что в современных условиях новый субъект-потребитель активно включается в формирование архитектурного пространства. Вплоть до конца XX в. потребителем считался только субъект воспри-

ятия архитектурных форм, пассивно воспринимающий предложенные ему архитектурные решения. В настоящий момент проявился социальный субъект, оценивающий и принимающий участие в процессе организации своей пространственной среды [4]. Мировой опыт показывает, что крупные промышленные центры претерпевают трансформацию на всех уровнях организации и становятся пространством для коммуникации, что отражается на повседневных практиках горожан. Основным свойством общественного пространства становится способность к осуществлению социального взаимодействия: встреч, общения, представления себя другим в повседневной жизни [5, 6].

В то же время большинство городских общественных пространств постсоветских городов оказалось к этому не готово, что привело к несоответствию проектов благоустройства городских территорий их дальнейшему функционированию и освоению горожанином. Нередко предлагаемые проектные решения игнорируют логику развития пространства и все разнообразие социальных процессов, для которых оно предназначено. Тотальное преобладание нефункциональных объектов (улица из места встреч и спонтанного общения превратилась в место для проезда и парковки транспорта) [7, 8], деградирующие или неосвоенные пространства, барьеры среды, отсутствие «определенных» пространств в «необходимом» и «удобном» месте — все это формирует круг проблем дисбаланса физической «проектируемой» среды и ее ментального восприятия горожанами.

Основой для проектирования должна быть правильно сформированная программа форм поведения и потребностей, а не заданный набор универсальных функциональных зон с несоответствующими габаритами и неактуальными нормами. Исходя из сложности социальных процессов, протекающих в городских открытых общественных пространствах, и необходимости выработки индивидуальных проектных решений, методы и средства, используемые в разработке данного вопроса, должны базироваться на междисциплинарных исследованиях в области градостроительства, дизайна городской среды, экологии среды, социологии и социальной географии. В этих условиях метод «ментальных карт» становится одним из действенных инструментов, позволяющих выявить особенности восприятия города его жителями и на основе этого предложить стратегии анализа его открытых общественных пространств и направлений их преобразования.

Понятие «ментальная карта» было введено К. Линчем еще в 1960 г. [9] в рамках исследования городской среды Бостона, Джерси и Лос-Анджелеса. Он отмечает, что субъективно воспринимаемое городское пространство многомерно и воздействует на уровне абстракций и воображения по-разному в разное время года и суток, на разные социальные и возрастные группы. Задача ментальной карты — выявление границ, узлов, ориентиров и путей жителей по городу путем общения с ними, а также той или иной эмоциональной окраски отношения к месту жителей конкретного района, что является ценным при разработке дальнейшего сценария развития городской территории. На основе исследования Линча можно выделить четыре значимых характеристики городского пространства:

1) «читаемость», когда пути, ориентиры и границы пространства легко группируются в целую картину без помощи карт и путеводителей;

- 2) «опознаваемость» объекта, которая позволяет отличать его от всех других;
- 3) пространственную соотнесенность с наблюдателем или другими объектами;
- 4) практическое или эмоциональное значение для наблюдателя.

Позднее эти положения в своих работах развивает американский социальный психолог С. Милграм, который неоднократно подчеркивает, что изучает не географическую реальность, а ее отражение в умах горожан. Город — это не только пространство для непосредственного восприятия субъектами внешней среды — это среда их активной жизнедеятельности [10]. Люди не только наблюдатели, но и участники городской жизни. Можно сказать, что они сами выстраивают свои образы городского пространства. Исходя из этого, автор определяет понятие ментальных карт как «образ города, который живет в сознании человека: улицы, кварталы, площади, имеющие для него важность, связывающие их устойчивые маршруты передвижения и ассоциативные цепочки».

Методическая разработка формализованного анализа ментальных карт и результатов его реализации представлена в работах Омера и Джианга [11], Б. Хиллера [12], сторонников сетевого анализа в пространстве — *space syntax*, опирающегося на компоненты воображаемости Линча (структуру, опознаваемость, значение). При этом делается акцент на структуру изучаемых объектов, позволяющий использовать структурный инструментальный сетевой анализа. Ряд современных авторов [13, 14] также в своих исследованиях используют трактовку создания ментальных карт как рисованных карт, создаваемых информантами по заданию исследователя на основе своих индивидуальных представлений об образе пространства.

Говоря об операционализации понятия «городская среда», В. Л. Глазычев [15] отмечает, что оно отражает предметно-пространственное окружение (обстановку) и поведение людей в этой обстановке. Взаимосвязь этих двух составляющих осмысленна и индивидуальна для каждого горожанина.

Восприятие территорий субъективно и отличается от ее реальных физических характеристик, поэтому приобретает значение исследования образов территорий, сложившихся у разных горожан. Это позволяет сделать городское планирование и управление максимально ориентированным на создание бесконфликтной, интересной и разнообразной среды, отвечающей запросам реальной повседневной жизни разных слоев и групп жителей.

Исходя из этого, *целью данного исследования* является фактическое сравнение физической и ментальной среды городских открытых общественных пространств (на примере территорий Красноармейского района Волгограда), обобщение периодически повторяющихся процессов с учетом разных социальных групп населения, а также выявление символически значимых элементов средообразования, способных стать основой дальнейшего преобразования данных социально значимых городских территорий.

*Объектом исследования* являются фрагменты городского пространства — городские открытые общественные пространства Красноармейского района Волгограда, а *предметом исследования* являются их физические (пространственно-планировочные) и ментальные характеристики.

В рамках исследования были рассмотрены городские открытые общественные пространства в заканальной части Красноармейского района Волго-

града как сложившиеся средовые объекты, наиболее освоенные местными жителями. На основе натуральных обследований, фотофиксации и наблюдения исследование включает три блока: 1) опрос жителей, составление ментальных схем и ментально-средовой анализ территорий; 2) системное наблюдение и фотофиксация; 3) разработка комплексной схемы совершенствования морфологической структуры рассмотренных общественных пространств города.

На первом этапе ставилась задача с помощью социального картографирования сформировать общее представление об исследуемых общественных пространствах района. Блок предусматривает прямое участие людей в проведении исследования. Респондентам было предложено графически изобразить одно из городских открытых общественных пространств заканальной части Красноармейского района Волгограда, которое рассматривалось как городская среда сосуществования разных категорий горожан, обладающих различным видением одной и той же территории. Общественное пространство оценивалось с позиций места активного времяпрепровождения и путей передвижения по нему. Респонденты отражали в рисунке собственные социально значимые элементы «своего» городского пространства, отбирая те элементы среды, которые соответствуют их субъективному опыту, моментам памяти и деятельности, поскольку среда воспринимается не сама по себе, а во взаимодействии с памятными событиями и процессами. Исследование позволило выявить особенности восприятия общественных пространств на примере территорий в Красноармейском районе Волгограда, зафиксировать элементы пространства, обладающие наиболее значимыми характеристиками (памятники, элементы природной среды, объекты городской инфраструктуры). Жилые дома, присутствующие на рисунках, не являются центром изображения, как правило, составляют фон, контекст, в который включены центральные элементы. Специфика собранных описаний позволила определить пространственную плоскость, систему координат для проекции содержательных и смысловых явлений. Собранная графическая информация дает возможность ответить на вопрос «Где это происходит?», дополнить знание о городе как о среде обитания, состоящей из людей и мест. Исходя из полученной информации был сформирован единый список мест с эмоциями, фактами, воспоминаниями и практиками, побудившими респондентов назвать данные места.

Таким образом, были получены ментальные карты, отражающие границы и символически значимые элементы среды (место отдыха, места общения, основные визуальные ориентиры) и их взаимосвязи, организующие хаотичное пространство в определенный пешеходный маршрут («быстрый» путь, «интересный» путь).

На основе данных ментальных карт был проведен комплексный ментально-средовой анализ территорий, позволивший выявить следующие элементы морфологической структуры общественных пространств заканальной части Красноармейского района Волгограда (рис. 1): *пути* — сеть линий движения по городскому комплексу (коммуникации, вдоль которых наблюдатель может перемещаться постоянно, периодически или только потенциально); *границы, или края*, — линейные элементы окружения, которые не воспринимаются в качестве путей, но могут выполнять их функцию; *визуальные ориентиры* — архитектурные объекты, фиксирующие композиционные узлы планировочной структуры города; *узлы* — элементы планировочной

структуры, визуально, композиционно и планировочно связанные с ориентирами; *районы* — части города, представимые как двухмерная протяженность, в которую наблюдатель мысленно входит «изнутри», формируемые вокруг объектов-ориентиров и узлов.



Рис. 1. Морфологическая структура общественных пространств Красноармейского района, сформированная на основе ментальных карт

В результате на территории исследования установлено 9 ориентиров, которые являются основным средством ориентации в городской среде и ментальной организации пространства обитания. Среди наиболее часто упоминаемых в опросах горожан указаны: памятник В. И. Ленину и кафе «Самолет», кинотеатр «Юбилейный», ДК «Строитель», кинотеатр «Энергия» и супермаркет «МАН». Новыми ориентирами стали ЖК «Адмиралтейский», фонтан парка «Юбилейный» и ТЦ «Юбилейный».

В ходе исследования на рассматриваемой территории в зонах тяготения основных ориентиров выделено 4 основных ментальных района (рис. 2):

1. Район набережной — расположен вдоль р. Волги, на данной территории основными визуальными ориентирами являются памятник В. И. Ленину и кафе «Самолет». В настоящее время район не имеет законченную композиционную и пространственную структуру, так как в свободном доступе для горожан находится только часть набережной, а оставшаяся часть имеет ограничения и в полной мере не используется, что существенно снижает социальный статус некогда сформированного градостроительного ансамбля.

2. Район «Юбилейный» — включает парк «Юбилейный», ориентиром является фонтан; по оси располагается ТЦ «Юбилейный», построенный недавно и на данном этапе ставший центром притяжения горожан. Основные объекты формируют узлы взаимодействия. В район входит торговая зона с рынком, образующим еще один узел взаимодействия. Кинотеатр «Юбилейный», также являясь визуальным ориентиром, в настоящий момент не функционирует, но продолжает быть смысловой доминантой одного из основных узлов ментального района.

3. Район «Строитель» — в районе крупным узлом взаимодействия является парк «Пионерский», на границе с которым в данный момент достраивается большой супермаркет; ДК «Строитель», давший название району, в настоящий момент не используется и находится в полуразрушенном состоянии.

4. Район «Энергия» — район, где основной узел взаимодействия горожан сосредоточен около визуального ориентира супермаркета «МАН». Свое название «Энергия» район получил от бывшего кинотеатра «Энергия». Сейчас на данном участке произошла рефункционализация общественной территории в зону специального назначения, на которой теперь находится православная церковь.

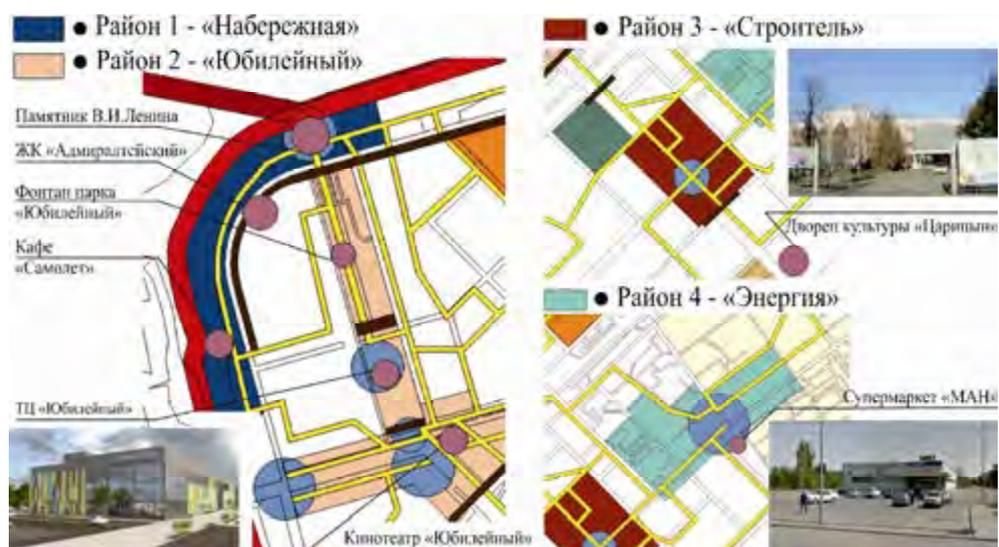


Рис. 2. Районы исследования, сформированные объектами-ориентирами ментальной организации общественных пространств

Следующий блок основан на составлении карты единого ментального пешеходно-рекреационного пространства с позиции системного наблюдения и фотофиксации. Было произведено фотонаблюдение исследуемых пространств с целью выявления социально-поведенческой среды, и полученные данные соотнесены с пространственно-планировочными характеристиками территории.

В итоге сравнения ментальных и физических карт общественных пространств были установлены отличия, раскрывающие расхождения пространственно-планировочных и функциональных характеристик и современного использования:

1. Несоответствие запроектированных объектов и площадок их прямому процессуальному использованию: в физической среде наблюдается деградация существующих объектов культурно-массового назначения (дома культуры, кинотеатры), однако в ментальной среде они продолжают быть основными ориентирами, формирующими узлы взаимодействия ментальных районов; в физической среде зоны для отдыха жителей слабо дифференцированы по функциональному назначению, в ментальной среде складываются определенные ареалы общения различных социально-возрастных групп.

2. Расхождение направлений пешеходных движений с запроектированными путями: в физической среде — линейные пространства, в ментальной среде — транзитно-ориентированные, витиеватые пути в зависимости от характера использования.

Выводы фактического сравнения физических (пространственно-планировочных) и ментальных характеристик среды подтверждает анализ общественно-значимых городских пространств, рассмотренные фрагменты среды открытых общественных пространств не отвечают потребностям и ориентирам жителей. Общественные пространства заканальной части Красноармейского района Волгограда имеют разрозненную структуру. Близость и типовые маловыразительные приемы благоустройства и озеленения затрудняют процесс ориентации в пространстве, не отражают «дух места», не используют культурно-исторический потенциал и значительно снижают социальную эффективность использования территории, сложившиеся пешеходные потоки идут в разрез с запроектированными ранее пешеходными направлениями. Следовательно, при проектировании городского пространства на этапе зонирования территории необходимо четко представлять количество проектируемых сред, которые будут размещаться, а впоследствии позволять бесконфликтно существовать различным группам населения. Опираясь на особенности движения человека, его привычные, «логичные» маршруты, возможно создать гармоничное пешеходно-рекреационное пространство, которое должно быть насыщено необходимыми элементами, способствующими перемещению и социальному взаимодействию горожан. Вышесказанное подтверждает, что для разработки мероприятий по дальнейшей реконструкции данных городских территорий необходимо проведение ментально-средового анализа, направленного на выявление требований данного пространства и поведенческого аспекта человека в пространстве. Основой для проектирования городского открытого общественного пространства должен стать правильно сформированный сценарий поведения с выстроенной логикой пешеходного движения взамен стандартного набора функциональных зон и элементов благоустройства с определенным составом и габаритами.

С учетом проведенного ментально-средового анализа разработана комплексная схема совершенствования морфологической структуры общественных пространств Красноармейского района Волгограда (рис. 3), в которой определены границы «ментальных районов» с учетом пространственных параметров и типов застройки, обладающих распознаваемым характером; выявлены новые связи и типы пространств с фиксацией визуальных «коридоров» между «ментальными районами»; намечена структура новых пешеходных путей между «ментальными районами» для формирования единых систем общественных пространств заканальной части Красноармейского района Волгограда; определены направления изменения характера соприкосновения транспортного и функционального каркаса с элементами городской ткани, влияющего на изменение структурного каркаса района.

В комплексной схеме намечена структура общественных центров и основных узлов тяготения территории. На рассматриваемой территории предусматривается организация трех общественных центров, расположенных по

основным магистральным улицам: территории Юбилейного района, территории Парка «Пионерский» и остановки «Энергия». Эти центра связаны между собой не только магистральными дорогами, но и основными пешеходными путями, которые являются каркасом заканальной части территории. Такие узлы тяготения, как культурный центр, склон набережной, рыночная площадь и спортивный центр, предусматривается связать в единую непрерывную систему пешеходных, транспортных и функциональных пространств повышенной социальной активности.



Рис. 3. Комплексная схема совершенствования морфологической структуры общественных пространств Красноармейского района Волгограда

Применение метода ментальных карт позволило выявить недостающие и избыточные функции, узлы притяжения, сложившиеся пешеходные связи, дифференцируемые по степени использования, визуальные и смысловые ориентиры, установить реальные предпочтения и пожелания жителей применительно к конкретной городской территории, что позволит существенно повысить комфортность и информативность среды и повлияет на качество жизни населения.

Таким образом, перспективным для дальнейшего развития среды городских общественных пространств представляется использование ментальных карт для краткого и емкого отображения ведущих представлений о них: доминантных образов, ключевых особенностей среды, отличающих данное пространство от других. Для этой цели необходимо соединить интерпретацию рисованных карт и привязку к конкретной городской территории. Задача — локализовать обобщенные ключевые элементы среды в конкретных точках (знаковых местах) городской территории.

Согласно проведенному анализу научной литературы и эксперименту можно сделать вывод о необходимости внедрения предпроектных исследований ментально-средового анализа в рамках разработки мероприятий по реконструкции городских открытых общественных пространств. Использование полученных данных дает понять, что физическая среда неразрывна с ментальной, залог гармоничной комфортной пешеходно-рекреационной среды, учитывающей приоритеты потребностей человека в пространстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Joachim F., Heike D.* Die Architektur der Gesellschaft. Theorien für die Architektursoziologie. Bielefeld, 2009. 312 p.
2. *Крашенинников А. В.* Социально-пространственная структура пешеходного пространства // АМТ. 2012. № 4(21). URL: [http:// www.marhi.ru/AMIT/2012/4kvart12/krasheninnikov/krasheninnikov.pdf](http://www.marhi.ru/AMIT/2012/4kvart12/krasheninnikov/krasheninnikov.pdf)
3. *Джекобс Д.* Смерть и жизнь больших американских городов / пер. Л. Мотылев. М. : Новое издательство, 2011.
4. *Назарова М. П., Етеревская И. Н., Янин К. Д.* Реновация городских общественных пространств с учетом их социокультурного потенциала // Социология города. 2017. № 3. С. 22—32.
5. *Сеннет Р.* Падение публичного человека. М., 2002.
6. *Гофман И.* Представление себя другим в повседневной жизни / пер. с англ. и вступ. статья А. Д. Ковалева. М., 2000.
7. *Лефевр А.* Идеи для концепции нового урбанизма // Социологическое обозрение. Т. 2. № 3. 2002.
8. *Ганжа А. Г.* Mobilis in mobile: об особенностях формирования публичных пространств в городе Москве // Логос. 2012. № 1. С. 289—310.
9. *Линч К.* Образ города / пер. с англ. В. Л. Глазычева ; сост. А. В. Иконников ; под ред. А. В. Иконникова. М. : Стройиздат, 1982. 328 с.
10. *Милграм С.* Эксперимент в социальной психологии. СПб. : Питер, 2000. 336 с.
11. *Omer I., Jiang B.* Imageability an topological eccentricity of urban streets // GeoJournal Library. Vol. 99. 2010.
12. *Hillier B., Vaughan L.* The city as one thing // Progress in Planning. 2007. № 67(3). Pp. 205—230.
13. *Веселкова Н. В.* Ментальные карты города: вопросы методологии и практика использования // Социология: 4 М. 2010. № 31. С. 5—29.
14. *Глазков К.* Ментальные карты: способы анализа, погрешность и пространственная метрика // Социология власти. 2013. № 3. С. 39—56.
15. *Глазычев В. Л.* Социально-экологическая интерпретация городской среды. М. : Наука, 1984. 180 с.

© *Етеревская И. Н., Петрова Л. С., 2019*

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Етеревская И. Н., Петрова Л. С.* Совершенствование структуры городских общественных пространств с использованием метода «ментальных карт» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 244—253.

*Об авторах:*

**Етеревская Ирина Николаевна** — канд. арх., доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [eterevskaya\\_irina@mail.ru](mailto:eterevskaya_irina@mail.ru)

**Петрова Лидия Сергеевна** — магистрант, кафедра урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [petrova.lidiya@mail.ru](mailto:petrova.lidiya@mail.ru)

**Irina N. Eterevsckaya, Lidiya S. Petrova**

**Volgograd State Technical University**

### **ELABORATION OF THE STRUCTURE OF URBAN PUBLIC SPACES WITH THE USE OF METHOD OF "MENTAL MAPS"**

A retrospective review of the incipience and development of the concept of "mental maps" as a method of researching ideas about urban space is given. The main elements of the morphological structure of public spaces formed on the basis of mental maps on the example of the territories of Volgograd are revealed. The use of the method of mental maps for the development of a research strategy for analyzing the urban open public spaces of the modern city and the directions of their transformation are described.

**Key words:** urban environment, urban open public spaces, the image of the city, the perception of space, the sociology of urban space, mental maps.

*For citation:*

Eterevsckaya I. N., Petrova L. S. [Elaboration of the structure of urban public spaces with the use of method of "mental maps"]. *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], 2019, iss. 2, pp. 244—253.

*About authors:*

**Irina N. Eterevsckaya** — Candidate of Architecture, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, eterevsckaya\_irina@mail.ru

**Lidiya S. Petrova** — Masters Degree student, Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, petrova.lidiya@mail.ru

УДК 727.7

**Э. Э. Красильникова, О. А. Ганжа, Н. А. Абдрашитова**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **МУЗЕЕФИКАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ КАК ФАКТОР ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДА)**

В настоящее время оптимальным способом сохранения, использования и популяризации объектов культурного наследия является создание музеев под открытым небом. Музеефикация объектов культурного наследия и их интеграция в городскую среду является одним из факторов развития территории города и даже целого региона. Волгоград — город с богатой историей, имеющий множество историко-архитектурных, культурных и природных памятников. Создание системы открытых музейных пространств позволит переосмыслить существующую среду города и даст толчок дальнейшему развитию пространственно-планировочной структуры города. В качестве примера рассматривается создание парка под открытым небом на территории поселка Нижний Тракторный города Волгограда и его интеграция в окружающую среду.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** музеефикация, музей под открытым небом, интерактивная музеефикация, градостроительное развитие.

Принимая во внимание социальные, экономические и культурные ценности в структуре города и их изменение, проблема сохранения и использования историко-архитектурного наследия в городской среде становится актуальнее в последнее время. В настоящее время наиболее распространенным методом решения этой проблемы становится музеефикация.

Россия обладает огромным количеством недвижимых архитектурных, историко-культурных объектов и ландшафтов, которые представляют историческую и культурную ценность. Но в настоящее время в стране практически не используется потенциал данных территорий.

Актуальность развития музеефикации территории заключается в распространении этого направления для сохранения множества объектов историко-культурного наследия и гармоничного их включения в городскую среду. Оптимальной формой реализации такой музеефикации является интерактивная музеефикация, при которой объекты культурно-исторического наследия могут работать не только как музеи, но и как просветительские комплексы, научно-исследовательские центры, рекреационные образования, узлы современного общественного обслуживания (с предприятиями общественного питания, торговли, ремесленными мастерскими и т. п.) [1].

*Цель данного исследования* заключается в изучении влияния музеефикации на процесс градостроительного развития территории города, поэтому в статье рассматривается музеефикация территорий как фактор градостроительного развития. Исходя из этого, актуальным градостроительным и социокультурным процессом является формирование музейно-выставочного комплекса регионального уровня на территории Волгограда.

Волгоград и Волгоградская область обладают уникальными культурно-историческими особенностями, поэтому необходимо создать систему открытых музейных пространств в городской среде, которая позволит включить уникальные объекты в городскую структуру и послужит стартом для переос-

мысления окружающего пространства, а также позволит создать новые параметры узнаваемости города. Интерактивная музеефикация рассматривается на примере поселка Нижний Тракторный в Тракторозаводском районе Волгограда. Поселок Нижний — памятник градостроительства Волгоградского региона. Главным направлением в формировании музейно-выставочного комплекса (экспо-парка) является интеграция архитектурно-ландшафтного музейного комплекса поселка Нижний Тракторный и архитектурно-ландшафтного выставочного комплекса «Соц-город» в единую устойчивую ландшафтно-градостроительную структуру.

Музеефикация пространства — это насыщение пространства особым музейным значением и его визуальное раскрытие. Задача музеефикации пространства призвана раскрывать историю, особенности и внутренние связи осваиваемой территории.

Музеефикация — это процесс, при котором местность и объекты повседневной жизни изменяются для того, чтобы люди чувствовали и вели себя с ними так, как будто они находятся в музее [2].

В современном, быстро меняющемся мире традиционные музеи истории городов стремятся выйти за рамки узко исторической или историко-архитектурной тематики.

Музеи истории городов, меняя свою структуру и расширяя экспозиционное пространство, трансформируются в музеи под открытым небом и становятся неотъемлемой частью постоянно меняющегося «городского пейзажа», то есть самого города в его непрерывном развитии. Они стремятся соответствовать своему назначению и удовлетворять разнообразные запросы современных посетителей. При этом нельзя не признать справедливость утверждения о том, что сегодня «учреждению, чтобы стать музеем города, нужно, прежде всего, определить, что такое город» [3]. Очевидно, что такие музеи призваны изучать не только истоки возникновения города, обращаясь к различным этапам формирования городской среды, но и шире — «процесс урбанизации, охватывающий общую непрерывную эволюцию городского центра» [3].

Первый музей под открытым небом был создан в Стокгольме Артуром Хазелиусом. В 1891 году он открыл этнографический комплекс «Скансен», где главными экспонатами были крестьянские постройки, общественные здания и мастерские ремесленников. Благодаря новаторскому подходу в показе экспонатов и их разнообразию «Скансен», во-первых, стал нарицательным термином и дал имя большому направлению в музеологии — «скансенологии», а во-вторых, получил широкую популярность и дал мощный импульс, стимулировавший создание новых музейных концепций по сохранению культурного наследия по всему миру [4].

Скансен сегодня — это не просто памятники культурного и архитектурного наследия, собранные под открытым небом по всему миру, это большое разнообразие новых идей, концепций и типов музеев в зависимости от их тематики. Парадокс идеи Скансена в слиянии противоположного — фиксации исторической памяти и продуцирования новых смыслов [5]. Законсервированная и в то же время постоянно обновляющаяся среда музея под открытым небом как форма организации памяти в современной культуре составляет причину успеха и популярности подобных музеев как в России, так и в Западной Европе [5].

В данном исследовании рассматривается не только анализ отдельных памятников и мест культурного значения, но и возможность соединения городской среды с музейным объектом, которая позволит человеку комплексно воспринимать городскую среду.

Музеефикация городского пространства необходима для развития ландшафтно-градостроительной структуры города, а именно для интеграции музейных объектов в ткань города, на основе взаимосвязи с существующим ландшафтом для формирования туристических троп и маршрутов по памятным объектам и местам. Таким образом, в результате этих преобразований в структуре города появятся новые общественные пространства.

Большинство музеев под открытым небом в России представлено мемориальными музеями — заповедниками, музеефицированными за последние годы дворянскими усадьбами, историческими христианскими объектами и т. д. [6]

В современных условиях музеи под открытым небом позволяют не только получить историко-культурные знания, но и провести время в уникальном пространстве. Они являются эффективной формой сохранения, изучения, использования и популяризации культурного наследия.

**Метод музеефикации территорий как основа формирования устойчивой социокультурной среды города.** Современный музей является одним из факторов развития территории города и целого региона. Музеи традиционно являются местами притяжения жителей и гостей города. Существует несколько вариантов влияния музея на развитие окружающей территории [7]. В данной статье рассматривается вариант размещения экспозиций на территории объектов исторического и культурного наследия, создания музея под открытым небом и его влияние на окружающую территорию. В этой связи музей выступает в качестве инструмента воссоздания исторического облика и культурно-исторического наследия места.

Музеи всех типов влияют на восприятие окружающей территории ее жителями и в целом населением страны и других государств, способны быть не только прекрасным местом для интеллектуального и культурно-просветительского досуга, но и служить альтернативой традиционным местам проведения свободного времени.

Одновременно с развитием транспортной и туристической инфраструктуры, благоустройством территории, созданием гостиничной, торговоразвлекательной недвижимости такие музейные объекты создают и меняют имидж города. Это, в свою очередь, привлекает инвестиции и стимулирует новые формы экономической активности. Таким образом, музеи влияют не только на уровень культуры, но также являются одним из факторов градостроительного, экономического и социального роста.

Волгоград и Волгоградская область богаты архитектурными и культурными памятниками, памятными местами, природными и другими достопримечательностями. Это памятники Царицына, мемориальные и этнографические комплексы, уникальные градостроительные структуры и другие объекты историко-культурного наследия.

На территории города располагаются несколько музеев под открытым небом разного вида и тематики: Историко-мемориальный комплекс «Героям Сталинградской битвы» на Мамаевом кургане, Музей-панорама «Сталинградская битва».

Скансен в его первоначальном виде представлен в виде историко-этнографического и архитектурного музея-заповедника «Старая Сарепта», который был создан в 1989 г. на базе сохранившегося историко-архитектурного комплекса колонии религиозного братства гернгутеров. Скансен «Старая Сарепта» находится в городской среде, что делает его культурно-просветительским центром. История немецкой колонии Сарепты, связанная в том числе с производством горчицы, органически вписалась и в историю, и в современный имидж Царицына — Волгограда [4], используется в территориальном брендинге города. В настоящее время музей-заповедник является крупным культурно-просветительским, научно-исследовательским и методическим центром в городе. На территории музея находятся библиотека, конференц-зал, концертный зал и другие общественные пространства, проводятся интерактивные мероприятия для детей и взрослых в виде экскурсий, лекций, выставок и представлений.



Рис. 1. Кирха. Историко-этнографический и архитектурный музей-заповедник «Старая Сарепта»

**Военно-исторический скансен.** Волгоград является городом воинской славы. Сталинградское сражение было одним из ключевых в Великой Отечественной войне, и город является символом победы народа. В городе находятся множество памятников, памятных мест, музеев, связанных с тематикой войны. Музей-заповедник «Сталинградская битва» — это уникальный комплекс, в который включено множество памятников, посвященных событиям Великой Отечественной войны. Комплекс состоит из нескольких памятных мест, которые расположены на территории всего города, в них входят: мемориально-архитектурный комплекс музея-панорамы «Сталинградская битва», Исторический заповедник — руины мельницы им. Грудинина (Мельница Гергардта), Мемориальный комплекс «Героям Сталинградской битвы» на Мамаевом кургане, Мемориально-исторический музей и памятник Ленину в Красноармейском районе г. Волгограда. Данный комплекс является отличным примером создания имиджа города. Волгоград известен как город с богатой военной историей, жители города и гости посещают именно эти памятные места.



Рис. 2. Мемориальный комплекс «Героям Сталинградской битвы» на Мамаевом кургане

Создание единой системы открытых музейных пространств в Волгограде позволит не только гармонично включить уникальные объекты в ткань города, но и даст толчок для переосмысления окружающего пространства. Система открытых музейных пространств (СОМП) позволит создать новые параметры узнаваемости города, что, в свою очередь, сформирует имидж Волгограда. В результате интеграции новых музейных объектов в существующую среду города появятся совершенно новые общественные пространства с доминирующей социально-культурной или историко-культурной функцией, что позволит создать новые точки притяжения в городе, которые повлияют не только на формирование комфортной социально-ориентированной городской среды города, но и на дальнейшее развитие его пространственно-планировочной структуры.

**Музеефикация поселка Нижний Тракторный — создание парка под открытым небом.** Рассматриваемая территория поселка Нижний Тракторный является частью Тракторозаводского района Волгограда, расположенного на севере города и занимающего 4-е место по размеру площади среди всех волгоградских районов (71,4 км<sup>2</sup>)<sup>1</sup>.

Свою историю Тракторозаводский район Волгограда ведет с первой половины XIX в., когда был основан поселок Спартановка. Название самый северный район города получил в 1926 г. после начала строительства Сталинградского тракторного завода. В 1936 году в результате разукрупнения Дзержинского района Тракторозаводский район получил свой официальный статус как административная единица.

Вместе с техническим перевооружением завода росли и благоустраивались поселки тракторостроителей. За годы предвоенных пятилеток возникли совершенно новые поселения городского типа. К такому типу поселков отно-

<sup>1</sup> Тракторозаводский район. URL: [http://www.pravda34.info/?page\\_id=540](http://www.pravda34.info/?page_id=540)

сится и рабочий поселок Нижний Тракторный, строительство которого началось осенью 1927 г.

В 1930-е годы Сталинград стал одним из «полигонов» для осуществления концепции нового социалистического расселения. Наряду с такими городами, как Горький и Магнитогорск, Сталинград вызвал большой интерес у советских архитекторов как своего рода экспериментальная площадка для новых градостроительных идей [8].

Территория Нижнего поселка является реализацией функционально-поточного принципа, сформулированного архитектором и теоретиком градостроительства Н. А. Милутиным, который в 1930 г. выступил с идеей зонального города. Он отмечал, что важнейшей проблемой в расселении является, прежде всего, равномерное размещение производительных сил по всей стране с учетом природных ресурсов и потребностей народного хозяйства [9].

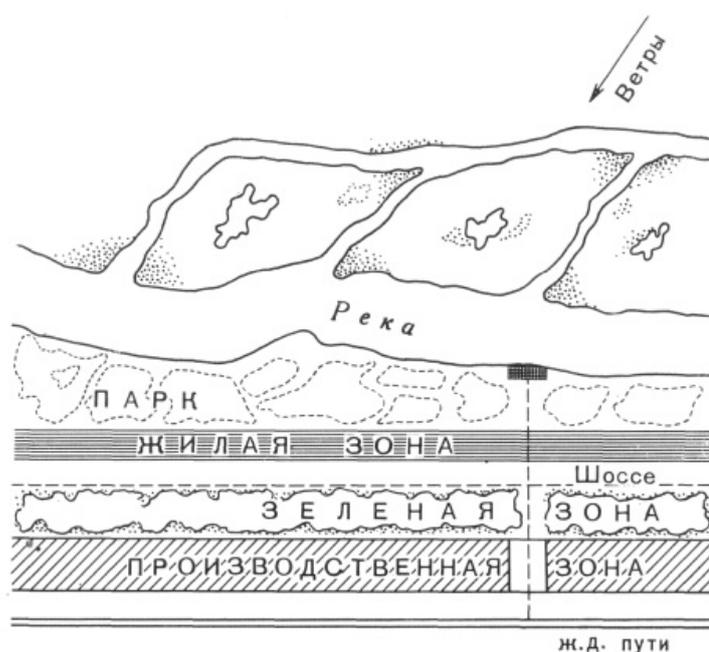


Рис. 3. Планировка поселка Нижний Тракторный

Уникальность объекта состоит в том, что за 80 лет существования неизменной сохранилась планировочная структура поселка. Работы по реконструкции этого памятника не проводились. Градостроительный масштаб этого места соблюден не только в пропорциях и габаритах жилых домов, но и в примыкающих дорогах и благоустройстве территории. Во времена Великой Отечественной войны здесь шли ожесточенные бои, в одном из зданий находился опорный пункт 112-ой мотострелковой дивизии. Некоторые дома были разрушены, но их восстановили после войны. Некоторые здания до сих пор имеют следы от пуль и снарядов.

Планировочная структура Нижнего поселка СТЗ, его парк и застройка составляют в комплексе памятник архитектуры и градостроительства советского времени. На этапе его строительства разработан новый тип социально-

го поселения трудящихся, который включает в себя основные функции жизнедеятельности — труд, быт и отдых [10].

На территории поселка Нижний Тракторный предлагается создать музей под открытым небом, что позволит жителям и гостям города лучше узнать его историю. Создание музея под открытым небом будет иметь значение памятника градостроительного искусства 30-х годов, периода конструктивизма, связанного с творчеством и градостроительной деятельностью архитектора Н. А. Милютина. Этот музей важен не только для развития Тракторного района, но и для Волгограда в целом. Интеграция архитектурно-ландшафтного музейного комплекса поселка Нижний Тракторный и архитектурно-ландшафтного выставочного комплекса «Соц-город» в единую устойчивую ландшафтно-градостроительную структуру станет новым музейным пространством в структуре города. Формирование туристических троп и путей свяжет его с другими музеями под открытым небом, что позволит создать абсолютно новые общественные пространства в городе. Модель сохранения и музеефикации поселка Нижний Тракторный была разработана в 2017 г. на кафедре урбанистики и теории архитектуры ИАиС ВолГТУ в рамках выпускной квалификационной работы на тему «Ландшафтно-градостроительная организация экспо-парка «Соц-город» на территории Тракторного завода г. Волгограда». В организацию экспо-парка включена интеграция архитектурно-ландшафтного музейного комплекса (поселок Нижний Тракторный) и архитектурно-ландшафтного выставочного комплекса «Соц-город» в единую устойчивую структуру. Выполненная работа высоко оценена на конкурсе выпускных квалификационных работ в Екатеринбурге в 2017 г., отмечена дипломом Союза Архитекторов России.

В настоящее время территория не представляет собой единый по функциональному назначению градостроительный комплекс, так как за прошедшие годы нарушена функциональная структура поселка Нижний Тракторный, идея которого была разработана архитектором Н. А. Милютиным [9]. Однако существующие объемно-планировочные составляющие и его местоположение в системе города, а также стилистические характеристики дают основание полагать, что данная территория может стать одним из главных факторов развития Волгограда, связанного с формированием имиджа города.

#### **Выводы:**

Идея музея под открытым небом значительно изменилась с момента создания первого скансена [4]. Сейчас музеи под открытым небом не имеют четких границ музейного пространства и активно внедряются в структуру города. Интеграция с существующей городской средой и интерактивность в развитии его функционального наполнения являются важнейшими факторами современного скансена. В настоящее время музей под открытым небом не является музеем в его классическом определении или досуговым учреждением культурного назначения. Скансен — это среда, в которой человек не зритель, а участник.

Музей под открытым небом является наиболее эффективной моделью сохранения и презентации культурного и природного наследия, позволяющей сохранять и экспонировать объекты наследия в аутентичной исторической, этнокультурной и природной среде. Объектами наследия в этом случае выступают не только памятники архитектуры, но и культурный ландшафт как

результат сотворчества человека и природы, имеющий исключительное историко-культурное значение, включающий в себя весь комплекс материальных и нематериальных ценностей, связанных с историческим формированием территории [11].

Создание единой системы открытых музейных пространств позволит раскрыть Волгоград с другой стороны и даст новые возможности для создания уникального имиджа города. Путем интеграции музейных пространств в существующую городскую среду будут созданы новые пешеходные пути и туристические маршруты. Это, в свою очередь, сделает необходимым создание новых общественных пространств, включение в ткань города которых будет способствовать ее изменению.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гайкова Л. В., Ямалетдинов С. Ф.* Система музеев под открытым небом как основа сохранения исторических поселений Сибири // Баландинские чтения. 2014. № 2.
2. *Осипова М. М.* Музеефикация в городе: от объектов к пространству // Труды СПбГИК. 2015.
3. *Мастеница Е. Н.* Музеефикация городской среды: подходы и методы // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов : Грамота, 2013. № 10. Ч. 1. С. 137—141.
4. *Старикова А. С.* Актуализация культурного наследия в музеях под открытым небом (на примере историко-этнографического и архитектурного музея-заповедника «Старая Сарепта») // Молодой ученый. 2018. № 19. С. 413—418. URL: <https://moluch.ru/archive/205/50244/>
5. *Саенко Н. Р.* Современные трансформации идеи музея под открытым небом // Современные проблемы сервиса и туризма. 2015. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-transformatsii-idei-muzeya-pod-otkrytym-nebom>
6. *Тихонов В. В.* К вопросу об актуальности дальнейшего развития скансеологического направления в музеологии // Вестник Томского государственного университета. № 3. 2016.
7. *Ласкина И. И.* Современный музей как фактор развития. URL: <http://bujet.ru/article/222913.php#>
8. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А.* Линейный город. Градостроительная система «Большой Волгоград» : монография / М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. Волгоград : ВолгГТУ, 2018.
9. *Милютин Н. А.* Проблема строительства социалистических городов // Основные вопросы рациональной планировки и строительства населенных мест СССР. Москва ; Ленинград : Гос. издательство, 1920.
10. *Птичникова Г. А.* Градостроительные концепции 1920—1930-х гг.: воплощение идей «Соцгорода» в планировке рабочего поселка при Сталинградском тракторном заводе // Архитектурное наследство. 2009. № 5. С. 302—310.
11. *Мастеница Е. Н.* Культурный ландшафт как объект наследия: подходы к изучению и проблемы сохранения в музеях под открытым небом // Вестн. Том. гос. ун-та. Культурология и искусствоведение. 2015. № 2(18).

© Красильникова Э. Э., Ганжа О. А., Абдрашитова Н. А., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

*Красильникова Э. Э., Ганжа О. А., Абдрашитова Н. А.* Музеефикация городских территорий как фактор градостроительного развития (на примере Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 254—262.

Об авторах:

**Красильникова Элина Эдуардовна** — канд. архитектуры, профессор, профессор кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет

(ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, <https://orcid.org/0000-0002-9845-5374>, SPIN-код: 3869-2827, [landurbanizm@gmail.com](mailto:landurbanizm@gmail.com)

**Ганжа Ольга Александровна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [ganzha\\_olga@mail.ru](mailto:ganzha_olga@mail.ru)

**Абдрашитова Надежда Амировна** — магистрант направления подготовки «Градостроительство», кафедра урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, Волгоград, ул. Академическая, 1, [nadya.abdr@gmail.com](mailto:nadya.abdr@gmail.com)

***Elina E. Krasilnikova, Ol'ga A. Ganzha, Nadezda A. Abdrashitova***

***Volgograd State Technical University***

### **MUSEUMIFICATION OF URBAN AREAS AS A FACTOR OF URBAN DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF VOLGOGRAD)**

Currently, the optimal method of preservation, use and popularization of objects of cultural heritage is the creation of museums under the open sky. Museumification of cultural heritage sites and their integration into the urban environment is one of the factors of development of the city and even the whole region. Volgograd is a city with a rich history, with many historical, architectural, cultural and natural monuments. The creation of a system of open museum spaces will allow to rethink the existing environment of the city, and will give impetus to the further development of the spatial — planning structure of the city. As an example, discusses the establishment of the Park under the open sky on the territory of the settlement Bottom Tractor of the city of Volgograd and its integration into the environment.

**Key words:** museumification, museum under the open sky, an interactive exhibition, urban development.

*For citation:*

Krasilnikova E. E., Ganzha O. A., Abdrashitova N. A. [Museumification of urban areas as a factor of urban development (on the example of Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 254—262.

*About authors:*

**Elina E. Krasilnikova** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-9845-5374>, SPIN-код: 3869-2827, [landurbanizm@gmail.com](mailto:landurbanizm@gmail.com)

**Ol'ga A. Ganzha** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ganzha\\_olga@mail.ru](mailto:ganzha_olga@mail.ru)

**Nadezda A. Abdrashitova** — Master's Degree student, Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [nadya.abdr@gmail.com](mailto:nadya.abdr@gmail.com)

УДК 712.01

**М. Д. Орозалиев<sup>а</sup>, И. В. Шеечук<sup>б</sup>, Н. Н. Антонова<sup>б</sup>, Е. А. Сасова<sup>б</sup>, И. И. Соколов<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

## **ПРИРОДНЫЕ ПАМЯТНИКИ КАК ОДИН ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Статья посвящена взаимосвязи схемы территориального планирования Ставропольского края с особенностью формирования ландшафтно-рекреационной среды. Рассмотрена специфика формирования ландшафтно-рекреационной среды края. Анализируется современная структура природных памятников различного направления. Предлагаются схемы формирования зон курортного отдыха и туризма, урбанизированного края, размещения зон отдыха в системе группового расселения, зонирования территории Ставропольского края.

**Ключевые слова:** природные памятники, рекреация, ландшафтно-рекреационная среда, зонирование, урбанизация.

Развитие Ставропольского края базируется на ряде градостроительных задач. Их реализация требует комплексного решения вопросов развития, сохранения и восстановления богатейшей северо-кавказской природы, совершенствования градостроительной основы урбанизированного края [1].

В связи с этим важным является вопрос сохранения и использования разнообразных природных факторов для проживающего населения путем формирования актуальной организации урбанизированного района и создания благоприятной современной среды. Функционально-планировочная структура должна включать все районы края, обеспечивать улучшенные микроклиматические условия, органическую связь с природой, современную транспортную доступность к местам массового отдыха и туризма [2].

*Объектом исследования* являются природные памятники Ставропольского края.

*Предмет исследования* — приемы архитектурно-ландшафтной организации природных памятников в зависимости от типологического направления.

*Цель работы* заключается в переосмыслении роли ландшафтно-градостроительного направления в профессиональном подходе к природным памятникам и разработке их комбинированного пути развития.

Исходя из поставленной цели, *основными задачами* являются:

анализ архитектурно-ландшафтной организации природных памятников;

выявление типологического формирования природных памятников;

изучение территориального потенциала края для развития природных памятников;

предложение по типологии организации природных памятников.

Проблема организации отдыха в крае специфична в силу ряда сложившихся социальных и природных условий [3].

Прежде всего, следует отметить серьезное богатство и разнообразие естественных ландшафтов: от равнинно-полупустынных в восточной части до горно-альпийских на южной территории. Особенно выделяются уникальные

ландшафты Северного Кавказа, которые привлекают огромную массу туристов и отдыхающих [4].

Восточная часть края занята сельскохозяйственным направлением. Здесь места отдыха занимают лишь островное, очаговое положение.

В степной части края задача состоит в сохранении ценных ландшафтов с обогащением и усилением по основным зонам в целях создания наиболее благоприятной для отдыха и оздоровления органичной ландшафтно-градостроительной среды (рис. 1).

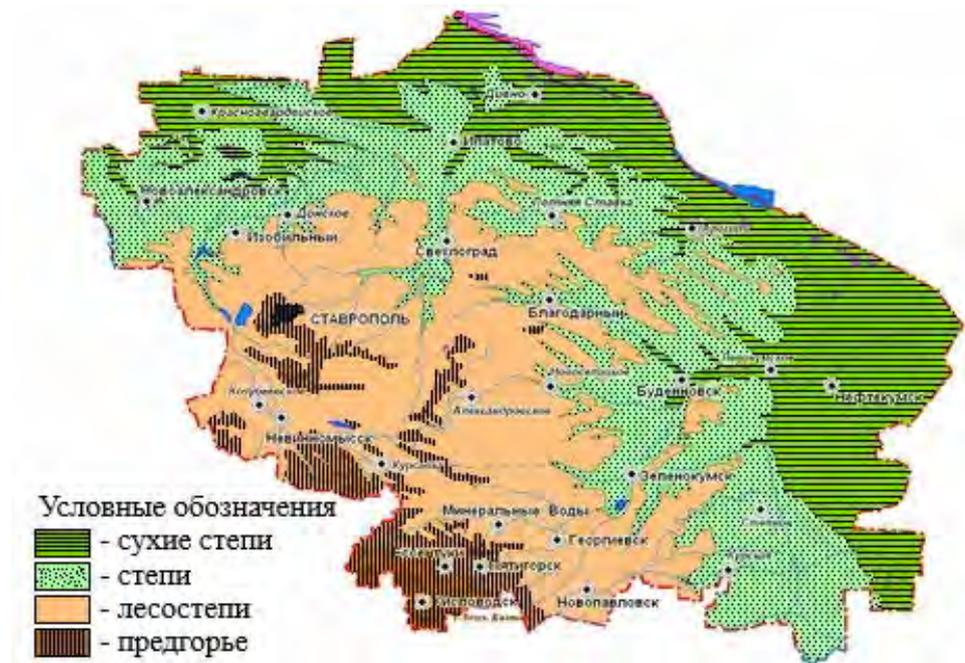


Рис. 1. Природное зонирование Ставропольского края

Важно учитывать эти факторы при формировании районов с уникальными заказниками, заповедниками, национальными и природными парками и природными памятниками. Рентабельность их зависит от общей структуры края и возможности совмещения элементов расселения и зон отдыха с основными транспортными магистралями [5, 6]. Поэтому необходимо устанавливать сбалансированное равновесие между отрицательным воздействием урбанизированных очагов и возможностями природных факторов к самовосстановлению (рис. 2).

На территории края имеются огромные запасы лечебных минеральных вод, разнообразных по химическому составу, температуре и радиоактивности. Природно-климатические условия вместе с территориальными ресурсами, достаточной плотностью населения создают благоприятные условия для создания полноценных систем зон отдыха и лечебного оздоровления (рис. 3).

Анализ природных зон и систем расселения многих краев и областей выявляет, что этого можно достичь, если в районах, которые характеризуются наиболее пригодными природными достопримечательностями и относительно незначительным хозяйственным развитием, активнее вводить режим ох-

раны и восстановления ландшафта. Эту функцию в Ставропольском крае выполняют: дендрологические парки, ботанические сады, заказники и национальный парк Кисловодский. Однако основная природоохранная нагрузка в крае лежит на природных памятниках [7—9].



Рис. 2. Схема урбанизации Ставропольского края



Рис. 3. Схема существующих зон курортного отдыха и туризма Ставропольского края

Природные памятники — это уникальные, невозполнимые, ценные природные объекты и природные комплексы, имеющие реликтовое, научное, историческое, культурное, эстетическое и эколого-просветительское значение и нуждающиеся в особой охране государства [10].

Первые памятники природы краевого значения на Ставрополье были образованы в 1961 г., и сейчас их насчитывается 67 (включая те, что находятся на территории Кисловодского национального парка).

Следует отметить, что в Ставропольском крае природные памятники расположены крайне неравномерно. Большая их часть находится на территории Кавказских Минеральных Вод (КМВ) и Шпаковского района, а также в Кочубеевском, Петровском, Андроповском, Георгиевском, Александровском, Минераловодском, Нефтекумском, Новоалександровском, Изобильненском и Грачевском районах [11].

В крае представлены следующие профили природных памятников: ботанические, гидрологические, геологические, палеонтологические, геолого-геоморфологические и комплексно-ландшафтные [12].

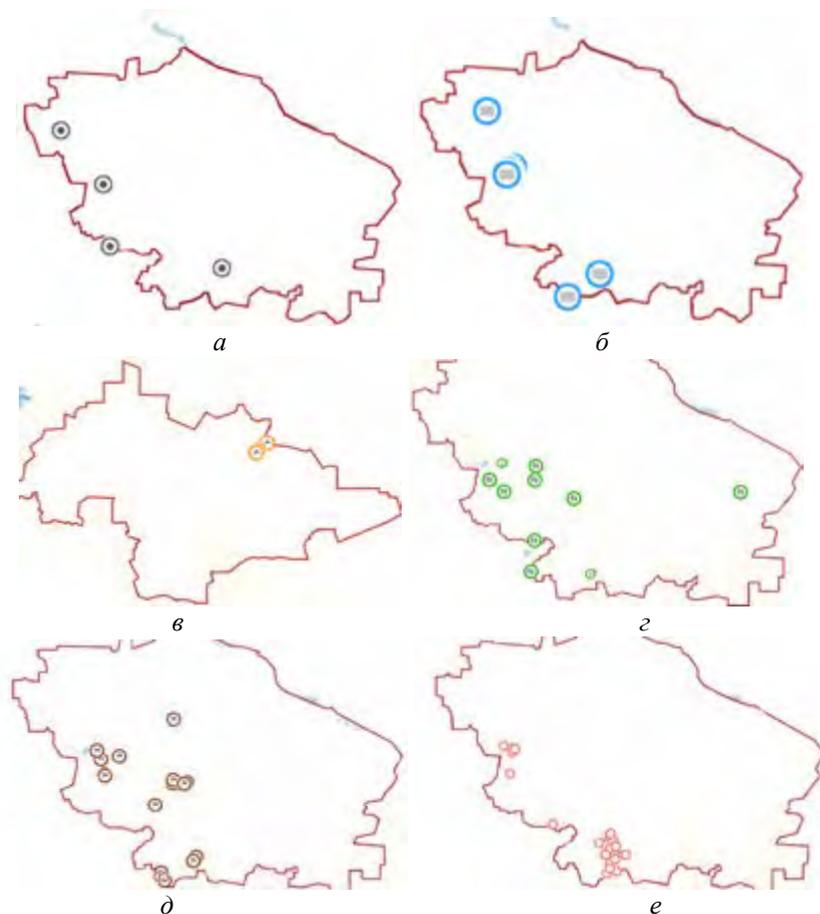


Рис. 4. Схемы размещения природных памятников: *а* — палеонтологического; *б* — гидрологического; *в* — геологического; *г* — ботанического; *д* — геолого-геоморфологического; *е* — комплексно-ландшафтного профиля на территории Ставропольского края. Условные обозначения: — палеонтологические памятники природы; — гидрологические памятники природы; — геологические памятники природы; — ботанические памятники природы; — геолого-геоморфологические памятники природы; — комплексно-ландшафтные памятники природы

Палеонтологические памятники природы представлены Косякинским, Георгиевским, Беломечетским и Кармалинским песчаными карьерами, которые находятся в Шпаковском, Георгиевском, Кочубеевском и Новоалександровском районах соответственно. Все они находятся в западной части края (рис. 4, а).

Гидрологическими памятниками природы в крае являются: Лермонтовский водопад и Баталинский минеральный источник в Предгорном районе, Холодный и Михайловский родники, а также урочище родника «Корыта» в городе Ставрополе и озеро Птичьё в Изобильненском районе (рис. 4, б).

Геологическими памятниками в крае являются горы: Острая, Тупая и Железная. Все они находятся в Предгорном районе недалеко от города Железноводска и входят в число семнадцати Палеовулканических гор Пятигорья (рис. 4, в).

Ботанические природные памятники в основном представлены великовозрастными деревьями ореха грецкого и сосны Сосновского, великовозрастными деревьями в парке культуры и отдыха (ПКиО) им. Кирова, тополями Болле (Предгорный район), великовозрастными деревьями в Ставропольском ПКиО и великовозрастными тополями (г. Ставрополь). Остальное — охраняемые участки леса: участки тиса в Боргустанском и Бекешевском лесничествах (Предгорный район), Лопатинская лесная дача, Четвертная балка, Буковый участок на горе Стрижамент (Шпаковский район), Буковый лес на Воронколевских высотах (Андроповский район), Дубовый лес на Прикалаусских высотах (Александровский район) и Камыш-Бурунский пойменный лес (Нефтекумский район) (рис. 4, г).

Представлены следующие геолого-геоморфологические памятники:

скалы: Лермонтовская, «Серые камни», «Замок коварства и любви», «Броненосец» и «Миноносец», «Красные грибы» (Предгорный район);

каменные образования Столбы (Александровский район);

горы: Кольцо (г. Кисловодск), Острая (Шпаковский район), Куцай (Петровский район), Брык (Андроповский район), Голубиная, Лягушка (Александровский район);

пещеры: Баталинская (Предгорный район), «Каменные сараи» (Александровский район);

нагромождение глыб «Каменный хаос» на северном склоне горы Стрижамент;

полоса скал и оползших глыб среднесарматского известняка в верховьях балки Татарка (Шпаковский район);

курган Киселевский (Александровский район).

Есть водные памятники природы, имеющие геолого-геоморфологическое происхождение: Травertiновый источник в Русской лесной даче (Шпаковский район) и Пятигорский большой провал (рис. 4, д).

Комплексно-ландшафтные памятники расположены довольно компактно и занимают юго-запад края. В основном представлены останцовыми магматическими горами Пятигорья: Бык, Верблюд, Джуца, Дубовка, Бештау, Золотой Курган, Лысая, Машук, Медовая, Юца, Развалка, Шелудивая (Предгорный район) и Змейка, Кинжал, Кокулты (Минераловодский район). Все они образованы в процессе кайнозойского горообразования посредством выдавливания огненной жидкой лавы и ее внедрения в осадочные породы мела и

палеогена. Комплексно-ландшафтными также являются: Балка Второй Лог, ландшафты высотной поясности Ставропольской горы, курган Лохматый (Шпаковский район), Долина р. Кубани у ст. Барсуковской (Кочубеевский район) и Урочище «Семистрожи» (Андроповский район) (рис. 4, е).

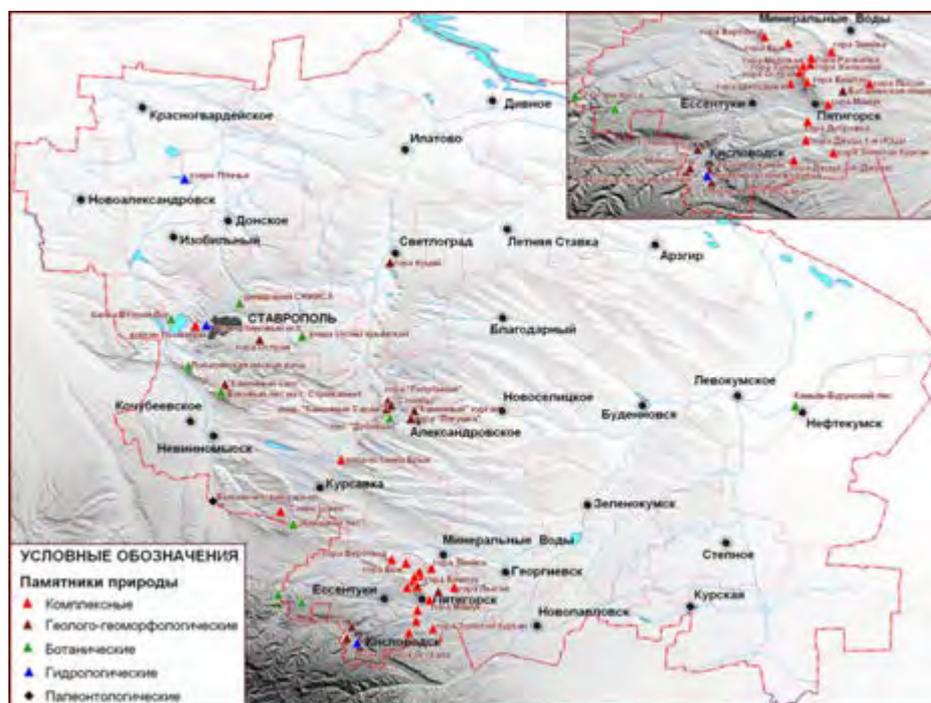


Рис. 5. Комбинированная схема расположения природных памятников на территории Ставропольского края

В структуре групповой системы расселения населенных мест края сформировались различные типы природных памятников. В зависимости от положения природного памятника определяются схемы: закрытая, полузакрытая, полуоткрытая и открытая. Варианты закрытых природных памятников содержат в себе полный перечень необходимых рекреационных функций: социальной, экономической и медико-биологической. Природные памятники полузакрытого типа выполняют одну из основных рекреационных функций и подразумевают частичное использование смешанных рекреационных ресурсов. Природные памятники полуоткрытого типа предполагают вспомогательную рекреационную группу для выполнения основной рекреационной функции. Природные памятники открытого типа предполагают только размещение и эпизодическую обслуживающую функцию [13, 14].

Научная новизна заключается в постановке новой проблемы в типологическом направлении ландшафтов природных памятников и разработке их комбинированного пути развития [15].

Практическая значимость раскрывается в предложении схем формирования зон курортного отдыха и туризма, урбанизированного края, размещения зон отдыха в системе группового расселения, зонирования территории Ставропольского края [16].

Необходимо отметить то, что рассмотрена возможность создания комплексных зон природных памятников как объектов культуры и отдыха для рекреационно-насыщенных пространств. Предложение пригодно для исследования в качестве базовой модели с целью установочного развития ландшафтно-рекреационных территорий края.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антофеев А. В.* Агломеративное развитие городов: архитектурно-градостроительные идеи и их реализация (на примере Волгограда) // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 15(34). С. 179—183.
2. Архитектурно-ландшафтная среда рекреационных территорий / И. И. Соколов и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 219—225.
3. *Boon J.* Couperusolwin, der Haag: Sied-lungs — und Erholungsgrün über Tiefgaragen in chemals bewaldeter Dünenlandschaft // Garten Landschaft. 1984. №. 6. Pp. 40—42.
4. Экотуристическая система г. Волгограда (на примере о. Сарпинский) / И. И. Соколов и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 29(48). С. 218—223.
5. *Vreeland E. B., Sullivan R.* New parks for New York by New York // Landscape Architecture. 1984. Vol. 74. №. 2. Pp. 58—64.
6. *Hubbard W.* Reassessing the art of landscape design: Central Park as a case Study // Architectural Record. 1984. Vol. 17. № 10. Pp. 69—75.
7. *Птичникова Г. А.* Архитектура и потребитель: метаморфозы города под влиянием глобального туризма // Социология города. 2010. № 3. С. 10—15.
8. Организация архитектурно-ландшафтной среды рекреационных территорий / И. И. Соколов и др. // Строительство в прибрежных курортных регионах : материалы VIII Международной науч.-практич. конф., посвященной итогам Олимпийского строительства в г. Сочи, 19—23 мая 2014 г. / под ред. К. Н. Макарова. Сочи : РосИнновации, 2014. 522 с.
9. *Jacgues D., Whitton M.* Computers in Landscape Practice: Applications in a landscape office // Landscape Design. 1984. Vol. 17. No. 152. P. 49—50.
10. *Антофеев А. В.* Устойчивое развитие города и социальные аспекты градостроительной политики // Социология города. 2010. № 3. С. 5—9.
11. *Дюжев С. А., Соколов И. И.* Система как механизм воплощения топоформ действительности расселения // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2008. Вып. 1(5). Ст. 2. URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&coverno=24>
12. Greater London Landscape // Landscape Design. 1985. № 153. Pp. 29—50.
13. Оценка рекреационного потенциала Волгоградской области / И. И. Соколов и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 343—349.
14. *Smyth B.* Slowing up the pace of London's greening // Town and Country Planning. 1984. Vol. 53. №. 12. Pp. 356—358.
15. *Milchert J.* Der Balkon // Standart. 1984. № 1. Pp. 38—41.
16. *Иванова Н. В.* Озеленение придомовых территорий // Новые идеи нового века. 2015. № 3. URL: <http://pnu.edu.ru/nionc/pub/articles/407/>

© Орозалиев М. Д., Шевчук И. В., Антонова Н. Н., Сасова Е. А., Соколов И. И., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Природные памятники как один из элементов формирования ландшафтно-рекреационных территорий / М. Д. Орозалиев, И. В. Шевчук, Н. Н. Антонова, Е. А. Сасова, И. И. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 263—270.

Об авторах:

**Орозалиев Мусалпар Джумалиевич** — канд. физ.-мат. наук, профессор, директор Института инновационных профессий, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры. Кыргызская Республика, 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б, [ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

**Шевчук Ирина Вячеславовна** — Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, iria.shevchuck@yandex.ru

**Антонова Наталья Николаевна** — доцент кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, antonovann.nata@mail.ru

**Сасова Евгения Александровна** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, evgeniasasova@gmail.com

**Соколов Иван Иванович** — канд. арх., профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sokolovii@mail.ru

**Musapur J. Orozaliev<sup>a</sup>, Irina V. Shevchuk<sup>b</sup>, Natal'ya N. Antonova<sup>b</sup>, Evgenia A. Sasova<sup>b</sup>, Ivan I. Sokolov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture*

<sup>b</sup> *Volgograd State Technical University*

## **NATURAL MONUMENTS AS ONE OF THE INDICATORS OF THE FORMATION OF THE LANDSCAPE-RECREATIONAL TERRITORIES**

The article is devoted to the relationship of the territorial planning scheme of the Stavropol territory with the feature of the formation of landscape and recreational environment. The specificity of the formation of landscape and recreational environment of the region is considered. The modern structure of natural monuments of different directions is analyzed. The proposed scheme of formation of zones of resort, recreation and tourism, urban edge, placement of recreation areas in the system group resettlement, zoning of the territory of the Stavropol territory.

**Key words:** natural monuments, recreation, landscape and recreational environment, zoning, urbanization.

*For citation:*

Orozaliev M. J., Shevchuk I. V., Antonova N. N., Sasova E. A., Sokolov I. I. [Natural monuments as one of the indicators of the formation of the landscape-recreational territories]. *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], 2019, iss. 2, pp. 263—270.

*About authors:*

**Musapur J. Orozaliev** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director of the Institute of Innovative Professions, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture. 34b, Malybaeva St., Bishkek, 720020, Kyrgyzstan, ksuca@elcat.kg

**Irina V. Shevchuk** — Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, iria.shevchuck@yandex.ru

**Natal'ya N. Antonova** — Docent of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, antonovann.nata@mail.ru

**Evgenia A. Sasova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, evgeniasasova@gmail.com

**Ivan I. Sokolov** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sokolovii@mail.ru

УДК 712.25

*Т. А. Черняевская, Т. Н. Лиманская*

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАНДШАФТНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАРКА Г. ВОЛГОГРАДА**

В статье рассматриваются возможности реконструкции и благоустройства территории парка, создания мемориально-исторической зоны на сохранившемся историческом ландшафте с историко-культурными объектами Царицына и Сталинграда, неразрывно связанными с общим ландшафтом и историческим развитием Волгограда. Актуальность проектирования данной зоны связана с необходимостью сохранения исторической памяти и продолжения традиций патриотического воспитания подрастающего поколения, а также с дальнейшими перспективами использования проектируемых зон парка на региональном и федеральном уровнях в туристической деятельности.

**Ключевые слова:** мемориальный комплекс, градостроительство, рекреация, историко-культурный ландшафт, реконструкция, озеленение, благоустройство.

Одним из незаменимых способов изучения культуры и истории, а также повышения общенационального культурного уровня людей является включение историко-культурных зон в полифункциональные парки, позволяющие выйти за рамки как развлекательных парков, так и музеев. Их объединение позволяет зрителю погрузиться в атмосферу истории, вернуться в прошедшие периоды развития города, увидеть великие события той или иной страны. Важно, чтобы исторические зоны парков не потеряли свою актуальность со временем, а, наоборот, приобрели больший размах благодаря будущим поколениям, выросшим на подобных проектах и понимающим их необходимость<sup>1</sup> [1].

Парковые зоны и места отдыха являются сердцем города и играют значительную роль в жизни не только крупных мегаполисов, но и в жизни небольших провинциальных городков. Городские парки — это место, где люди могут проводить свободное время, поближе узнать друг друга в безопасной обстановке, отдыхать от городской суеты и просто наслаждаться природой. Парковые зоны способствуют улучшению качества воздуха и являются средой обитания и развития представителей флоры и фауны. Также они способствуют сплочению городского населения и повышению качества его жизни [2, 3, 4].

Мемориальные зоны и парки, включающие мемориальные территории, играют важную роль в формировании культурно-исторического облика города. Многие мемориальные зоны связаны с историческими событиями, которые происходили на этой территории в то или иное историческое время [4, 5, 6].

В процессе разработки проекта реконструкции ЦПКиО был проведен анализ использования данной территории в разные исторические периоды, на основании которого были выделены исторические ценные мемориальные сооружения и элементы. Это определило возможность их использования в архитектурно-планировочной композиции парка.

---

<sup>1</sup> URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Центральный\\_парк\\_культуры\\_и\\_отдыха\\_](https://ru.wikipedia.org/wiki/Центральный_парк_культуры_и_отдыха_)

Центральный городской парк занимает территорию площадью около 45 га. Восточной частью парка выходит непосредственно к прибрежной зоне реки Волги, на севере граничит со спортивным комплексом, на юге примыкает к торгово-развлекательному комплексу «Европа», на западе ограничен жилой застройкой — пр. Ленина. Участок имеет форму трапеции, находится в непосредственной близости к Волге, занимает приволжскую надпойменную террасу на стыке Приволжской и Ергенинской возвышенностей. Территория парка Волгограда продолжает сохранять структуру и зонирование, заложенные в предыдущих проектах строительства и реконструкции (1960—1996 гг.), и нуждается в изменениях, отвечающих современным запросам и потребностям общества [7, 8].

Актуальность темы связана с наступившей необходимостью сохранения исторических объектов и обеспечения возможностью их осмотра посетителями парка. Одновременно нуждаются в реконструкции зеленые насаждения парка, архитектурно-планировочная структура и благоустройство популярных функциональных зон. Необходимость реконструкции подтверждает также бедность ассортимента деревьев и низкая декоративность дендрологической флоры озелененных территорий парка.

Цель работы заключается в разработке проекта реконструкции архитектурно-планировочной структуры парка с организацией мемориальной и культурно-исторических зон и их транспортно-пешеходных связей с другими функциональными зонами, с прилегающими городскими территориями и выходом к Волге, обеспечивающими удобную доступность для посетителей.

Решение комплекса задач, включающих в себя биологический, природоохранный и технологический ряд мероприятий, обеспечит реализацию поставленных целей. Проектные мероприятия направлены на сохранение, восстановление и использование непрерывного применения биологических компонентов, которые помогут сохранить, увеличить ресурсный потенциал и создать оптимальные условия для отдыха населения.

Волгоград — это исторический населенный пункт РФ, являющийся одним из крупнейших городов Южного Федерального округа, территории общественных центров которого нуждаются в модернизации рекреационных объектов. Наряду со многими другими южнорусскими городами, Волгоград был основан как крепость, призванная защищать русские земли от набегов кочевников. Город пережил два переименования: с 1588 г. — Царицын, с 1925 г. — Сталинград, а с 1961 г. — Волгоград, Сталинградскую битву в годы ВОВ, а также индустриализацию, перестройку и новую власть [9].

С конца XIX в. на территории современного парка Волгограда был построен и функционировал городок братьев Нобелей, резко выделявшийся на фоне остальной городской застройки. Он состоял из завода по выработке масел из нефти, нефтеперекачечных сооружений, резервуаров, слесарно-механических мастерских, бондарного завода, эстакад и виадуков. Размещившийся на берегу Волги в северной окраине Царицына городок придавал городу индустриальный вид. Нобелевский городок стал реализацией градостроительной модели нового социального поселения для рабочих [8, 9].

Эммануил Нобель способствовал развитию интереса к строительно-архитектурному делу у своих сыновей, которые впоследствии создали целую сеть «нобелевских поселков» — образцов новой жилой среды для рабочих

своих предприятий. Идея с городками была реализована в Царицыне, Астрахани, Саратове, Самаре, Уфе, Рыбинске и других городах [7, 9].

Общими принципами планировочной организации нобелевских городков были следующие установки:

1) автономность по отношению к существующему городу (рядом, но не совместно);

2) разделение промышленной и селитебной зон;

3) развитый функциональный состав общественного обслуживания;

4) широкое озеленение и благоустройство, развитие ландшафтной архитектуры;

5) развитая инженерная инфраструктура с использованием самых передовых технологий своего времени.

К сожалению, из-за отрицательных исторических событий, включающих ожесточенные бои на современной территории Волгограда, сохранилось незначительное количество исторических объектов. На территории, занятой в настоящее время ЦПКиО, после ожесточенных боев за Сталинград от исторического комплекса сооружений, обслуживающих танкеры нефтяной компании «Братьев Нобель», остались только подземные тоннели и резервуары (рис. 1).



Рис. 1. Существующее положение

Еще один исторический объект находится непосредственно на территории «Нобелевского городка», который предлагается сохранить: блиндаж, организованный в одном из резервуаров нефтехранилища, в котором с сентября по октябрь 1942 г. располагался штаб командующего 13-й гвардейской дивизии — генерала Александра Родимцева<sup>2</sup> [9].

После войны эти катакомбы были внесены в реестр исторических мест Сталинграда, в 1965 г. на этом месте была установлена памятная стена из гранитного камня. Территорию данного объекта предлагается реконструировать в мемориальный комплекс, включающий сквер и памятную стену. На эту

<sup>2</sup> URL: <http://v1.ru/text/newsline/329364269240320.html>

стену нанесено известное фото водружения Красного знамени на одном из зданий в Сталинграде и состоит оно из тысяч фотографий фронтовиков, которые сражались за победу на этой земле [7, 9].

По генеральному плану Волгограда в перспективе предлагается выполнить на этом месте проект создания небольшого военно-исторического комплекса, установив рядом с памятной стеной бюст легендарного генерал-майора Родимцева<sup>3</sup>.

Архитектурно-планировочное расположение и рельеф участка размещения военно-исторического комплекса позволяют создать подземные парковочные места для посетителей мемориала и отдыхающих на территории парка. Реконструкция выполняется в условиях отсутствия возможных расширений территории, поэтому нами используется крутой склон берега Волги для оборудования в рельефе надземной и подземной автостоянок и смотровых площадок с выходом к реке [7].

По нашему проекту территория мемориального комплекса имеет регулярную планировку, которая включает сквер, имеющий специальное озеленение деревьями и кустарниками повышенной декоративности с преобладанием вечно зеленых хвойных пород. В сквере разработано цветочное оформление с размещением малых архитектурных форм. Кроме стены памяти в комплексе размещаются часовня, смотровые площадки, прогулочные аллеи, наземно-подземная парковка, лестничный спуск к Волге, пешеходные переходы и подъезды (рис. 2).



Рис. 2. Схема проектного предложения по благоустройству историко-мемориальной зоны на территории ЦПКиО: 1 — Стена памяти; 2 — часовня; 3 — сквер; 4 — наземно-подземная стоянка; 5 — пешеходный переход; 6 — смотровые площадки; 7 — лестничный спуск; 8 — пешеходные дорожки; 9 — смотровая площадка на берегу Волги

Историко-культурная зона проектируется на основании сохранившегося здания, одного из капитальных строений бывшего «Нобелевского городка», постройка которого датируется XIX в. В историко-культурной зоне проектиру-

<sup>3</sup> URL: <http://vetert.ru/rossiya/volgograd/sights/180-stena-rodimtseva.php>

ется исторический комплекс «Нобелевский городок», на территории которого расположатся выставочные павильоны с интерактивно-обучающими экспонатами, игровой городок и тропический комплекс с оранжереей и садом.

Историческое здание предлагается реконструировать и открыть для просмотра, накрыв стеклянным куполом, а вокруг разместить композицию, состоящую из музея-экспозиции «Нобелевский городок», который займет порядка 13 тысяч квадратных метров территории парка, сад и оранжерейный комплекс, созданный по исторической реконструкции. Здесь можно будет узнать историю места, о том, как добывали, транспортировали и перерабатывали нефть. Причем значительная часть истории «Нобелевского городка» будет интерактивной, чтобы было интересно и детям.

Проектно-организационные мероприятия учитывают необходимость создания доступности новых функциональных зон парка для людей с ограниченными возможностями, направленных на улучшение условий обслуживания инвалидов всех категорий.

Предлагаемые зеленые насаждения культурно-исторической и мемориальной зон представлены древесными растениями как в рядовых посадках, так и отдельными группами деревьев и кустарников. Нами подобран расширенный ассортимент из устойчивых в данном климате растений и обладающих декоративными свойствами, включающий такие породы, как ель колючая, сосна обыкновенная, лиственница сибирская, туя западная, можжевельник виргинский, можжевельник казацкий и лиственных пород дуб красный (северный), дуб пирамидальный, ива вавилонская, клен татарский, клен Гиннала, клен остролистный, клен серебристый, тополь пирамидальный, ясень обыкновенный, гледичия обыкновенная, а также цветущие кустарники: рябина обыкновенная, айва японская, барбарис обыкновенный, жимолость татарская, бирючина обыкновенная, форзиция европейская, сирень обыкновенная и венгерская, рододендрон даурский, тамарикс ветвистый и другие виды древесных.

Большое значение уделяется и цветочному оформлению мемориальной и культурно-исторической зон. Предлагается использовать цветы красной и белой окраски (розы, гвоздики, хризантемы, тюльпаны, гвоздики, канны, розы, бегонии) [2, 10, 11].

Особая торжественность, монументальность сооружения подчеркиваются подсветом комплекса и наиболее важных в композиционном плане деталей. Ограждения для новых проектируемых зон предлагается выполнить из чугуна в комплексе с зелеными бордюрами, мощения площадок — из натурального камня и декоративной тротуарной плитки. Обогащение дендрологической флоры реконструируемой территории направлено на решение комплексов природоохранных, экологических, биологических, а также технологических задач, которые обеспечат восстановление, сохранение и непрерывное использование компонентов биологического разнообразия, увеличение ресурсного потенциала, а также формирование наиболее благоприятных условий для времяпровождения посетителей парка [12, 13].

Таким образом, создание высокохудожественного мемориала, неповторимого по стилю выразительности, будет обеспечивать взаимосвязанные предложенные архитектурно-планировочные компоненты. Каждому из компонентов отводится в комплексе мемориала определенная роль и функция,

поддерживающие единую идею передачи новым поколениям гражданской активности и патриотизма. Объединяющим элементом композиции является озеленение, которое поддерживает общее архитектурно-планировочное решение и будет обеспечено необходимым ассортиментом деревьев, кустарников, газонов и цветов.

Композиционное размещение элементов озеленения будет учитывать объемы проектируемых и существующих сооружений, водных поверхностей, естественного ландшафта местности и современных инженерных объектов<sup>4</sup> [10].

Проект реконструкции территории Центрального парка выполнен на основании предложений ранее выполненного генплана Волгограда, которые включают разработку мемориальной и культурно-исторической зон с сохранением основной идеи существующей архитектурно-планировочной организации паркам (рис. 1, 2).

При реконструкции также усовершенствуется транспортно-пешеходная связь между зонами и прилегающими территориями, обеспечивается выход к берегу Волги. Проектные предложения также обеспечивают свободный доступ к экспонатам музеев и объектам социальной инфраструктуры посетителям с ограниченными возможностями.

Предлагаемая реконструкция Центрального городского парка обеспечит более благоприятные рекреационные условия для жителей, расширит количество функциональных зон, дополненных новыми проектируемыми историко-культурной и историко-мемориальной зонами, что будет способствовать увеличению туристической привлекательности парковой территории. Функционирование данных зон позволит открыть парк с новой стороны, насыщение разными функциями и современное благоустройство позволит привлечь большое количество посетителей как среди горожан, так и гостей города, позволит разнообразить и сделать интересным посещение парка для всех возрастов и групп населения.

Реконструкция в Центральном парке сохранившихся исторических объектов XIX—XX вв. и исторического ландшафта укрепит исторический статус Волгограда не только как областного, но и регионального центра.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Newton P., Bai X.* Transitioning to Sustainable Urban Development. URL: [ehs.unu.edu/file/download/8940.pdf](https://ehs.unu.edu/file/download/8940.pdf)
2. *Нагибина И. Ю., Журова Е. Ю.* Значение парковых зон для жителей городской среды // Молодой ученый. 2014. № 20. С. 84—85. URL: <https://moluch.ru/archive/79/14035/>
3. *Tate A.* Urban parks: functions, funding and futures // *Green places*. 2006. №. 8. Pp. 22—27.
4. *Птичникова Г. А., Антюфеев А. В.* Имидж современного города и его архитектурный образ // *Социология города*. 2015. № 3. С. 5—21.
5. *Горохов В. А.* Городское зеленое строительство. М. : Стройиздат, 2008. 416 с.
6. *Dixon T.* Sustainable Urban Development to 2050: Complex Transitions in the Built Environment of Cities. Oxford Brookes University, 2011. URL: <http://www.retrofit2050.org.uk/sites/default/files/resources/WP20115.pdf>
7. *Чернявская Т. А., Лиманская Т. Н.* Возможности реконструкции современных городских парков на примере г. Волгограда // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2018. Вып. 53(72). С. 205—215.
8. *Теодоронский В. С.* Садово-парковое строительство : учеб. для студентов вузов. М. : Моск. гос. ун-т леса, 2006. 335 с.

<sup>4</sup> URL: <http://landscape.totalarch.com/node/42>

9. *Птичникова Г. А.* Нобелевские городки в дореволюционной России. URL: <http://vera-porova.ru/nobeli.php>
10. *Баишмакова А. В.* Исторические парки мира // Молодежный научный форум : гуманитарные науки : электр. сб. ст. по мат. XLIII Международной студ. науч.-практ. конф. № 3(42). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_humanities/3\(42\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_humanities/3(42).pdf)
11. *The landscape urbanism reader* / Ed. Ch. Waldheim. New York : Princeton Architectural Press, 2006. 295 p.
12. Волгоградская область: природные условия, ресурсы, хозяйство, население, геологическое состояние / Под ред. В. А. Брылева. Волгоград : Перемена, 2011. 495 с.
13. *Cornier J.* Terra fluxus / Ed. Ch. Waldheim // *The landscape urbanism reader*. New York : Princeton Architectural Press, 2006. Pp. 21—32.

© *Чернявская Т. А., Лиманская Т. Н., 2019*

*Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Чернявская Т. А., Лиманская Т. Н.* Оценка перспектив использования ландшафтно-исторического потенциала территории Центрального парка г. Волгограда // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 271—277.

*Об авторах:*

**Чернявская Татьяна Антоновна** — канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Лиманская Татьяна Николаевна** — магистрант, кафедра урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [tanya-13limanskaya@mail.ru](mailto:tanya-13limanskaya@mail.ru)

***Tat'yana A. Chernyavskaya, Tat'yana N. Limanskaya***

***Volgograd State Technical University***

## **ASSESSMENT OF PROSPECTS OF USING THE LANDSCAPE AND HISTORICAL POTENTIAL OF THE TERRITORY OF THE CENTRAL PARK OF VOLGOGRAD**

The article discusses the possibilities of reconstruction and improvement of the park, creating a memorial and historical zone in a preserved historical landscape with historical and cultural objects of Tsaritsyn and Stalingrad, which are inextricably linked with the general landscape and historical development of the city of Volgograd. The relevance of the design of this zone is connected with the need to preserve the historical memory and continue the traditions of patriotic education of the younger generation, as well as with the further prospects of using the projected park zones at the regional and federal levels in tourism activities.

**Key words:** memorial complex, urban planning, recreation, historical and cultural landscape, reconstruction, landscaping, improvement.

*For citation:*

Chernyavskaya T. A., Limanskaya T. N. [Assessment of prospects of using the landscape and historical potential of the territory of the Central park of Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 2, pp. 271—277.

*About authors:*

**Tat'yana A. Chernyavskaya** — Candidate of Biology, Docent, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Tat'yana N. Limanskaya** — Master's Degree student, Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [tanya-13limanskaya@mail.ru](mailto:tanya-13limanskaya@mail.ru)

УДК 72.01

**С. А. Долганова, А. Г. Карпенко**

*Волгоградский государственный технический университет*

**ФОРМИРОВАНИЕ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ  
В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ  
АРХИТЕКТОРОВ**

В данной статье рассматриваются основные способы формирования и развития творческого мышления в профессиональной подготовке архитекторов. В современных условиях необходимо обновление стратегии, направленной на развитие профессионального мышления студентов. Для этого необходимо проанализировать влияние ряда важнейших компонентов творческого образования на становление личности архитектора и определить их изменения в рамках формирования соответствующих профессиональных компетенций. Актуальность исследования связана с тем, что в современном образовательном процессе необходима корректировка сложившейся системы преподавания творческих дисциплин, оптимизация методологии творческого развития архитектора.

**Ключевые слова:** развитие творческого мышления, образовательная система, дополнительное образование, профессиональные компетенции.

Важной составляющей фундамента, на котором строится все здание государства, являются образование и наука. Российское образование во все времена отличалось от других образовательных систем мира, оно носило ярко выраженный фундаментальный классический характер. Происходило комплексное формирование личности: не только передача знаний обучающемуся, но и развитие в нем способности самостоятельно анализировать, мыслить, создавать интеллектуальный продукт.

Конечная стратегическая цель обучения — приобретение человеком активности, которая проявляется в инициативном, самостоятельном, творческом (преобразующем) отношении к внешней действительности, другим людям, к себе. Активность определяется как способ взаимодействия субъекта со средой, в котором выражается его стремление к ее эффективному освоению. Для высшего образования, профессиональной подготовки такая активность выступает в форме профессионально и социально значимых психологических качеств личности выпускаемого специалиста — все то, что определяет его профессиональную компетентность и профессиональное мастерство [1].

В 2003 году Россия присоединилась к Болонской конвенции о совместной деятельности в области высшего профессионального образования. Появилась необходимость пересмотра образовательных технологий, а также модернизация существующих методов.

Современная система российского образования находится в стадии реформирования. Не все происходит гладко. Многолетние достижения и традиции утрачены, изучение некоторых предметов формальны, ряд дисциплин исключены из системы как ненужные для жизни в современном социуме. Но посмотрим на «неважные» предметы с другой стороны. Например, навыки, приобретенные на уроках черчения, помогают ученику при изучении таких предметов, как информатика, физика, технология, география. Например, чер-

чение тренирует точность действий и аккуратность, пространственное мышление и воображение. Общекультурное и прикладное значение в школе имеет изучение изобразительного искусства, с помощью которого формируется эстетическое восприятие окружающего мира. Учащиеся развиваются творчески и эмоционально, получают возможность самовыражения.

Многообразие видов заданий на уроках выявляют и развивают способности, способствуют развитию одаренности учащихся. В работах с творческой компонентой не может быть единственного правильного ответа: работ-ответов будет много — столько же, сколько и учеников, и все ответы будут разными, и все — правильными.

При этом техническим вузам необходимо, чтобы студенты умели видеть, воображать, представлять и изображать с помощью карандаша на бумаге, с использованием графической культуры. Объем предпрофессиональных навыков абитуриентов составляет всего лишь треть от необходимых на «входе» в высшую ступень, обретение новых знаний дается будущим специалистам с большим трудом и нередко требует больших временных затрат, нежели это обозначено в рабочих программах. Становится очевидным, что в современных условиях необходимо формировать положительную мотивацию учения и общественно полезной деятельности. Этому должно способствовать формирование общего положительного отношения к школе, дополнительному образованию, радости познания, желания что-то сделать своими руками, широта интересов, любознательность. Мы подошли к осознанию того, что актуальность творческого образования детей обусловлена ускорением темпов изменений в обществе, что влечет за собой появление принципиально новых требований к обучению и воспитанию нового поколения. Современный человек с высоким уровнем культуры, овладевший новыми технологиями и методиками, может успешно реализовать свой личностный потенциал в реальном мире.

Необходимость введения новых систем и технологий обучения понятна всем, но как это сделать — вопрос, который требует тщательного анализа и проработки. Инновационные процессы в образовании крайне необходимы — это одно из условий нынешних реалий жизни, они дают возможность активизировать познавательную и мыслительную деятельность студентов.

Многолетний опыт работы со студентами творческих специальностей, а также с абитуриентами позволяет сделать выводы о необходимости пересмотра темпов и методов обучения в современном высшем архитектурном образовании, актуализации традиционных и возможности приобретения новых профессиональных компетенций, необходимых для последовательного становления специалиста.

Архитектурное дело на отечественном рынке переживает сегодня достаточно сложный период реорганизации: реформируется высшая архитектурная школа, отменено и замещено членством в саморегулируемых организациях лицензирование, налаживаются связи Союза архитекторов России с системой образования, совсем недавно поставлена задача создать систему непрерывного образования и переподготовки профессионалов. Для того чтобы современный архитектор мог успешно выполнять профессиональные задачи, необходимо, по всей видимости, научиться анализировать эффективные схемы и перенимать прогрессивные методы, объединяющие образование и практику.

Совершенствование форм и методов архитектурного образования в России с целью включения его в международное образовательное пространство следует проводить с учетом следующих факторов:

1) необходимо расширять тематику содержания профессионального образования за счет развития междисциплинарного сотрудничества и проведения междисциплинарных научных исследований;

2) следует расширять и планомерно развивать обмен идеями и сотрудничество между архитектурными школами России, находящимися в структурах высших учебных заведений различных форм — многопрофильных университетов, технических университетов, академий и вузов искусств, а также представителями других специальностей и организациями с целью взаимного обогащения и развития междисциплинарного взаимодействия;

3) необходимо внедрять вариативные методы, методологии и технологии образования, направленные на внедрение оригинальных идей, предложенные талантливыми студентами, известными учеными и практиками;

4) особое внимание следует уделить развитию коммуникационных составляющих образования, которые позволяют привлекать к сотрудничеству различные социальные группы, представляющие современное гражданское общество; использовать коммуникации для поиска и распространения научных идей;

5) необходимо развивать дополнительное образование, ориентируясь на потребности профессиональной архитектурной деятельности и учитывая большое социокультурное значение архитектурной деятельности [2].

Архитектура — это материально-пространственное окружение человека, каркас его жизнедеятельности, поведения, отношения к окружающей среде. В работе архитектора связь материального и идеального весьма очевидна — еще планируя на бумаге, в голове его уже сложилась та или иная идея, которую надо воплощать конкретно в жизнь.

К сожалению, в современном мире упрощается понятие красоты, ее эстетических качеств, понятие меры, теряется связь элементов окружающей среды между собой. В современной городской застройке зачастую нет взаимодействия окружающей нас природы и новой архитектуры. Все делается и воспринимается как временное и недолговечное. Нередко многокомпонентный анализ теряет актуальность, побеждает сиюминутность архитектурных решений, их оторванность от природного окружения и сложившейся среды. Архитектура претерпевает немислимые интерпретации как в области архитектурных форм, так и в области цветовых решений [3].

Искусственно создаваемая городская среда, а также впечатление от нее во многом зависят от творческой деятельности архитекторов. Архитектурный облик современного города должен определяться не только комфортом, удобством и уютом, не только сохранением ранее созданного другими, но и высокими современными идеями, заложенными в серьезных произведениях сегодняшнего искусства — зодчества, что имеет непосредственное отношение к оптимальной организации жизненных процессов и положительного эмоционального фона для людей. Человек, существующий в пространстве и воспринимающий это пространство, преобразует его. Он создает для себя окружение, в котором выражает свои представления об устройстве мира и общества. Здесь архитектор выступает как создатель среды жизнедеятельно-

сти и как исследователь характера использования ее потребителем. Участвуя в этом сложном, созидательном и ответственном процессе, архитектор должен иметь высокий профессиональный уровень мастерства и творческой подготовки.

Процесс формирования профессионального сознания у студентов архитектурных специальностей рассматривается авторами как система активного освоения необходимых компонентов учебной работы, как развитие способностей и умений, приобретение особенностей и свойств, значимых для успешной профессиональной деятельности.

Средством профессионального становления является, несомненно, учебная деятельность, успешность и рациональная организация которой оказывают влияние на уровень профессиональной подготовки и развитие профессионального самосознания.

Результатом развития профессионального сознания и осознания себя как специалиста является степень подготовленности выпускников к продуктивному, творческому решению профессиональных задач.

Исследуемая область достаточно обширна и требует всестороннего анализа, изучения и обобщения, поэтому рассмотрим более подробно лишь некоторые компоненты, влияющие на формирование профессионально значимых качеств будущего специалиста.

В архитектурной практике всегда идет поиск новых видов графики, возникновение и развитие которых, как известно, диктует время, характер архитектуры, современные компьютерные методы проектирования, новые требования к изображению элементов проекта.

Новые компьютерные графические приемы также должны соответствовать требованиям архитектурного чертежа и должны быть увязаны с творческими поисками архитектурных форм, с новыми методами проектирования и строительства. При этом нельзя переоценивать значение технических средств и компьютерной графики. Компьютер не может заменить человека с его вкусами, устремлениями, эмоциями, которые естественным образом присутствуют в творческом процессе архитектурного проектирования [4].

Для того чтобы выразить свои мысли, архитектор должен прибегать к бумаге, рисунку, живописи. Неспособность выразить на бумаге свои идеи приводит к тому, что многие из них остаются невоплощенными. «Какие бы высокие идеи не заполняли его мысли, художником будет только тот, кто сумеет воплотить их в своей практике и передать эти мысли и идеи в наглядном изображении», — говорил Д. Рейнольдс [5].

Глазомер, наблюдательность, умение сравнивать, анализировать, сопоставлять, мыслить объемно, пространственно, соблюдать пропорции, умение увидеть конструкцию предмета сквозь сложность внешней формы, составить гармоничную композицию — все это необходимые умения и навыки, которые предоставляют архитектору широкие возможности на всех стадиях творческого процесса, обеспечивают успешное решение профессиональных задач. Роль изобразительного искусства в формировании личности архитектора в современном образовании несомненна. Обучение изобразительному языку, конечно же, совершенствуется, меняются методики, подходы в учебно-воспитательном процессе, но новые технологии, новые приемы и направления в искусстве не умаляют значения «ручной работы» — умения держать в

руках карандаш или кисть и умение этими средствами передать видение и красоту окружающего мира.

В работе с натуры развивается воображение, которое в профессиональной деятельности и при обучении в вузе является основой для развития творческого воображения, обеспечивающее умение быстро и правильно находить решения поставленных задач. Развитость воображения обеспечивает гибкость мышления, что, в свою очередь, является одним из основных профессиональных качеств.

Таким образом, в настоящее время важна работа студентов над набросками, которая создает благоприятные предпосылки и большие возможности для развития творческих способностей, проявления индивидуальности и инициативы рисующих. Студенты должны строить самостоятельную работу над набросками в соответствии с теми знаниями и умениями, которыми они располагают в данный период, на каждом конкретном этапе обучения. Это необходимо для того, чтобы обоснованно, методически правильно, с полным пониманием решать возникающие при этом учебные и творческие задачи. В процессе рисования значительно лучше запоминаются характерные особенности изображаемых объектов, чем при простом визуальном наблюдении, поэтому необходимо достаточное количество набросков, выходящее за рамки учебной программы.

Рисунок, как мы считаем, — один из наиболее важных видов изобразительной деятельности, осуществляемой будущими архитекторами. Дополняя другие разделы учебной и творческой работы, эти занятия дают возможность проводить систематическое изучение натуры, собирать разнообразный изобразительный материал, способствуют поддержанию профессиональных навыков архитектора на необходимом уровне. Систематические занятия над выполнением длительных рисунков также создают прочную основу для профессионально-художественной подготовки архитекторов. Занятия, проводимые в учебных аудиториях, решают многие важные учебные задачи: проводится последовательное изучение методов работы над набросками, а также осуществляется планомерное освоение материалов и техник рисунка. Поэтому большое значение имеет методически обоснованное сочетание сеансов набросков, проводимых в учебных аудиториях, с регулярной самостоятельной работой студентов над набросками разнообразных объектов, а также с активными занятиями набросками в период летней практики. Студенты получают возможность систематически делать значительное количество набросков различных объектов. Во время летней практики идет дальнейшее овладение материалами рисунка и методами выполнения набросков и происходит углубление и совершенствование знаний и навыков, полученных студентами на предыдущих этапах обучения.

Кроме того, работа над набросками, несомненно, имеет творческий характер, который проявляется в самостоятельности, оригинальности решений изобразительных задач, индивидуальном подходе к выполнению заданий, самостоятельном выборе изобразительных средств и методов работы, что способствует постепенному развитию профессиональных коммуникационных навыков специалиста [6].

Следующим компонентом развития творческих способностей, являющимся важным в деятельности архитектора, выступает способность владения

цветом. Крупнейший исследователь цвета в искусстве Иоханнес Иттен считал, что серьезное изучение цвета является превосходным средством развития и формирования личности, воспитанием лучших человеческих качеств, что является фундаментальной основой профессионального творчества [7]. Исходя из того, что одним из важнейших моментов деятельности архитектора является работа с цветом, то этим специальностям в основу обучения живописи должно быть положено не только написание постановок. Движение от научных знаний законов цвета, колорита, зрительного восприятия должно студента привести к овладению способностью «видеть», представлять окружающий мир соответственно специфике своей деятельности. Работа над цветом должна являться одним из основных моментов учебной деятельности студентов-архитекторов, которая будет оказывать значительное влияние на развитие профессионального мышления будущих специалистов. Состояние и уровень цветовой культуры характеризуется системой цветовых традиций, их специфическими чертами, взаимосвязью со всей духовной и материальной культурой человека. Достижения цветовой культуры — творческий опыт и результаты научных исследований — все более целенаправленно используются архитекторами для конструирования окружающей предметно-пространственной среды.

Эта эстетическая подоснова служит канвой конкретных художественно-композиционных цветовых решений архитектурных объектов.

Значение архитектурной полихромии включается в информацию, которую несет архитектурная форма о природе, обществе, его образе жизни и культуре. Знание языка архитектурной полихромии — необходимая составляющая цветового композиционного мастерства архитектора, которая позволяет использовать цвет для воплощения осмысленной, эмоциональной творческой идеи [8].

Именно в форме живописи начинается художественное освоение и осмысление окружающего мира, познается его богатство, что заставляет студента больше думать, рассуждать. Возникают новые идеи: пластические, пространственно-композиционные, живописные. Целью художественной подготовки по живописи архитекторов является развитие художественной наблюдательности, стремление к постоянному поиску в жизни материала для творческого воплощения, способности замечать в окружающей жизни интересное, прекрасное, значительное.

Таким образом, как бы ни была своеобразна деятельность архитектора, владение цветом является также одним из важных профессиональных коммуникативных навыков.

Следующим фактором успешного обучения, позволяющим формировать и развивать основные профессиональные компетенции студента, является научно-исследовательская деятельность, которой в условиях реформы высшей школы придается огромное значение. Исследовательская деятельность многогранна и помогает развить профессиональное самосознание и самостоятельность, у студентов формируются навыки продуктивной работы над решением поставленных задач, повышается их профессиональная компетентность. Исследовательская деятельность может быть реализована в рамках дополнительного образования, на занятиях спецкурсов и в творческих мастерских, которые предполагают углубленное развитие знаний и предоставление

студентам возможности более творчески и целенаправленно работать, расширять сумму знаний, осваивать инновационные технологии, формировать профессиональный опыт. Итогом этой деятельности является участие в научных конференциях, конкурсах, выставках.

В результате научной деятельности студентами формируются навыки и умения в постановке и формулировании целей и задач, информационном и коммуникативном поиске, прогнозировании, в выборе эффективной модели и принятии решений, оценке и контроле результатов. При этом важен и психологический результат — формируются ключевые ценностно-смысловые и общекультурные компетенции.

Кроме того, научная деятельность является и важным элементом следующего компонента — самостоятельной работы студентов.

Правильно организованная и эффективная самостоятельная работа способствует формированию полноценных знаний, развитию творческого мышления, выработке оптимальных способов и приемов умственного труда. Самостоятельность характеризует активность человека с точки зрения его относительной независимости от внешнего окружения, позволяет выстраивать эффективное взаимодействие с внешним миром, развивает способности студента к самоуправлению в таких формах, как самостоятельное определение и переопределение целей, самостоятельное приобретение знаний, самоорганизация, коммуникативная активность, самоконтроль. В рамках системы архитектурного образования воспитание самостоятельности студента формирует его профессиональную компетентность и профессиональное мастерство.

Следующим, несомненно, важным фактором, играющим роль в профессиональном становлении специалиста, является преподаватель, сопровождающий собственно познавательную деятельность студента. Именно преподаватель должен увидеть в каждой личности особое творческое начало, заметить индивидуальность, развить актуальные и потенциальные возможности обучаемого. Я. А. Коменский утверждал, что во всякой школе дело обучения и воспитания всецело определяется учителем. Педагог должен оставаться главной фигурой и в современном обучении. При условии верного, талантливое, методического руководства формируются базовые свойства и профессиональные качества будущего специалиста.

Современный этап педагогической работы в высшей архитектурной школе — это соединение информационно-объяснительной технологии обучения и деятельно-развивающей, формирующих широкий спектр личностных качеств студента.

Исходя из требований современного высшего образования, в обучении профессиональному мастерству надо идти не только от знаний, но и от целей, задаваемых архитектурной специализацией, определяющей, что нужно и не нужно знать. Таким образом, преподаватели, которые хорошо представляют конечные стратегические цели обучения, и исходя из которых формируют и согласовывают с ними цели ближние, тактические, являются, несомненно, лидерами в обучении. Эти знания и умения преподавателей проявляется в следующем: знание полного объема учебного курса; свободное раскрытие внутри межпредметных связей; свободная вербализация учебного материала; наличие собственной позиции в изложении учебного курса; знание места учебного предмета в структуре учебного плана; профилирование (соотнесе-

ние с целями обучения) учебного курса. Творческая составляющая работы преподавателя должна включать способность свободной рекомбинации учебного курса при необходимости постоянного обновления содержания учебного курса по мере развития науки, свободного свертывания и развертывания содержания учебного курса в необходимых для этого случая пределах, изменения логической структуры учебного предмета [9].

Оптимизация профессиональной подготовки и переподготовки педагогических кадров должна быть непрерывной, иметь поступательный характер и способствовать решению стратегических задач, соответствующих федеральным стандартам образования. В обязательный состав знаний преподавателя высшей школы помимо профессиональных и практических умений должны входить также знания философии и методологии, знания научной области, формирующей учебный предмет, знание психологии обучения, педагогики и методики преподавания или воспитательной работы.

Таким образом, рассматривая развитие творческого мышления студента-архитектора как сложный многокомпонентный процесс, мы проанализировали важность некоторых его составляющих, таких как: творческие дисциплины учебного блока, научная деятельность, самостоятельная работа, руководящая роль преподавателя.

Формирование и развитие профессионально значимых качеств и свойств личности в современном высшем архитектурном образовании должно происходить последовательно и методически целесообразно, с использованием наиболее эффективных методов и способов обучения, разработкой которых должны заниматься преподаватели, имеющие высокие профессиональные компетенции, хорошо представляющие конечные стратегические цели обучения. Кроме того, можно сделать вывод о необходимости пересмотра темпов и методов обучения, актуализации традиционных методик и использования возможности внедрения системы дополнительного образования. Все это будет способствовать повышению качества обучения и позволит студентам более творчески и целенаправленно работать, расширять сумму знаний, осваивать инновационные технологии, формировать профессиональный опыт.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко С. В. Педагогические условия формирования гражданско-правового сознания студентов в процессе изучения в вузе социально-гуманитарных дисциплин : дис... канд. пед. наук. Ставрополь. 2000. 175 с.
2. Топчий И. В. Организация междисциплинарных исследований в архитектурных школах США и Великобритании. Архитектура и строительство России. 2012. № 6. С. 20—29.
3. Потоккина Т. М., Карпенко А. Г. Инновационные подходы в практике преподавания // Образование в XXI веке : проблемы и перспективы : материалы V Международной науч.-практ. конф. Пенза : Приволж. Дом знаний, 2009. С. 96—98.
4. Долганова С. А., Вакулина И. Н., Бачурина К. С. Организация, контроль и определение критериев оценки самостоятельной работы студентов-архитекторов в условиях перехода к двухступенчатой системе высшего образования // Новые идеи нового века : материалы Международной науч. конф. ФАД ТОГУ. 2012. Т. 2. С. 106—108.
5. Кроль А. Е. Джошуа Рейнольдс. М., 1959.
6. Набросок как одна из составляющих в процессе обучения студентов архитекторов / А. Г. Карпенко и др. // Новые идеи нового века : материалы Международной науч. конф. ФАД ТОГУ. 2011. Т. 2. С. 336—339.
7. Иттен И. Искусство цвета. М. : Д. Аронов, 2004.

8. *Ефимов А. В.* Формообразующее действие полихромии и вопросы изучения в архитектурной школе : Автореф. дис. канд. арх. М., 1973.

9. *Матвеев Н. М.* Системность профессиональных знаний преподавателя вуза как основа успешности обучения студентов // Проблемы современного образования. 2007. № 51. С. 200—208.

© Долганова С. А., Карпенко А. Г., 2019

Поступила в редакцию  
в марте 2019 г.

Ссылка для цитирования:

*Долганова С. А., Карпенко А. Г.* Формирование творческого мышления студентов в современной системе профессиональной подготовки архитекторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 278—286.

Об авторах:

**Долганова Светлана Андреевна** — старший преподаватель кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sunny.dolganova@inbox.ru

**Карпенко Анна Геннадиевна** — доцент кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, karpenko.61@mail.ru

**Svetlana A. Dolganova, Anna G. Karpenko**

**Volgograd State Technical University**

## **FORMATION OF CREATIVE THINKING OF STUDENTS IN THE MODERN SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF ARCHITECTS**

This article discusses the basic concepts of the formation and development of creative thinking in the professional training of architects. In modern conditions it is necessary to update the strategy aimed at the development of students' professional thinking. To do this, it is necessary to analyze the influence of a number of important components of creative education on the formation of the architect's personality and to determine their changes within the framework of the formation of relevant professional competences. The relevance of the research is related to the fact that in the modern educational process it is necessary to adjust the existing system of teaching creative disciplines, optimizing the methodology of the creative development of the architect.

**Key words:** development of creative thinking, educational system, additional education, professional competence.

*For citation:*

Dolganova S. A., Karpenko A. G. [Formation of creative thinking of students in the modern system of professional training of architects]. *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], 2019, iss. 2, pp. 278—286.

*About authors:*

**Svetlana A. Dolganova** — Senior lecturer of Architecture of Buildings and Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., 400074, Volgograd, Russian Federation, sunny.dolganova@inbox.ru

**Anna G. Karpenko** — Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, karpenko.61@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](http://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](http://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 заверяется 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 подрисовочной 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. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав*. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

*Порядок рецензирования.* Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

**Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.**

**КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.**

*Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).*

#### **Тематические рубрики**

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ <http://vgasu.ru/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. А-215а. (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 редколлегии 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](mailto: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,

**Уважаемые читатели и авторы!**  
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала  
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-65 к отв. секретарю редколлегии *С. А. Калиновскому* (каб. А-215а)

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале  
**«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»**

обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.

Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**  
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.

*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*

*утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)).

Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолгГТУ 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  
2019. Выпуск 2(75)**

Редактор *Н. В. Юдина*  
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*  
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*  
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 24.06.2019. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная  
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная  
Уч.-изд. л. 12,4. Усл. печ. л. 25,2. Тираж 500 экз. Заказ № 317

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»  
Типография ИАиС  
Адрес издателя: 400005, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 28  
Адрес типографии: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1