

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Вып. 1(78)**      **Серия: Строительство и архитектура**  
Научно-теоретический и производственно-практический журнал      **2020**

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

Выходит 4 раза в год  
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолГТУ

**С о д е р ж а н и е**

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

<b>Гриценко Б. С., Пшеничкина В. А., Халап Н. Н.</b> Прогнозирование ресурса железобетонных конструкций при запредельных прогибах	6
<b>Коянкин А. А., Митасов В. М.</b> Экспериментальные исследования влияния высоты монолитной зоны бетона на напряженно-деформированное состояние сборно-монолитного изгибаемого элемента	20
<b>Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А.</b> Инженерно-геологические проблемы освоения территорий распространения дисперсных грунтов в сейсмоактивных регионах	30
<b>Пшеничкина В. А., Сухина К. Н., Сухин К. А., Дубовский М. Е.</b> Анализ напряженно-деформированного состояния металлических подкрановых балок с учетом несоответствия реализованной конструктивной схемы	38
<b>Чередниченко Т. Ф., Тухарели В. Д., Габбасов Р. Т.</b> Современные тенденции устройства напольных покрытий сооружений различного назначения с упрочненным верхним слоем	47
<b>Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д.</b> Исследование температурных режимов краевых зон многослойной ограждающей конструкции здания	58

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

<b>Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Болдин А. И.</b> Обоснование технических ограничений при проектировании парковок на городских дорогах	67
<b>Девятов М. М., Волков В. С., Вилкова И. М., Гагулина О. В.</b> Формирование системы индикаторов визуальной информационно-эстетической модели для цифровой дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды	77

<b>Деятов М. М., Волков В. С., Гагулина О. В., Щebetko Д. А.</b> Методика формирования архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги для повышения удобства и безопасности движения	92
<b>Коростелева Н. В., Басов В. А.</b> Перспективы организации транспортно-пересадочных узлов в крупных городах (на примере Волгограда)	108
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ</b>	
<b>Гайшун Е. С., Филиппова А. А., Гайшун А. С., Яеруян Х. С., Котляр В. Д.</b> Перспективное сырье на основе террикоников Восточного Донбасса для производства керамических камней	118
<b>Голова Т. А., Магеррамова И. А., Андреева Н. В.</b> Технология производства неавтоклавных пенобетонов, дисперсно армированных модифицированными волокнами	126
<b>Гончарова М. А., Акчурип Т. К., Коста А. А.</b> Исследование коррозионной стойкости жаростойких шлакобетонов при длительной выдержке в агрессивной сульфатной среде	136
<b>Гурьева В. А., Ильина А. А.</b> Особенности состава и термических изменений техногенного серпентинита как сырья для производства изделий строительной керамики	142
<b>Казарян С. О.</b> Стабилизирующие добавки для щебеночно-мастичных асфальтобетонов на основе высокодисперсных пористых минеральных материалов	149
<b>Логанина В. И., Куимова Е. И.</b> Оценка полноты контроля качества строительных материалов	157
<b>Положное А. В., Магомедов Ш. И.</b> Опыт использования отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона при изготовлении строительных композитов различного функционального назначения	163
<b>Положное А. В., Магомедов Ш. И.</b> Технологические подходы к формированию строительных композитов с использованием отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона	169
<b>Тараканов О. В., Акчурип Т. К., Утюгова Е. С.</b> Эффективность применения комплексных органо-минеральных добавок для бетонов	174
<b>ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ</b>	
<b>Москвичева Е. В., Радченко О. П., Клочков Д. П.</b> Состав сточных вод, образующихся после обмыва автотранспорта на строительных площадках	182
<b>Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В.</b> Очистка хромосодержащих вод электродиализом в нестационарном режиме	190
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b>	
<b>Суслов Д. Ю., Темников Д. О.</b> Оптимальное расположение биометановой установки и станции подачи биометана в системы газоснабжения	196
<b>Чичерин С. В.</b> Резервы снижения тепловых потерь сетей и повышения надежности теплоснабжения: анализ проектной и исполнительной документации	204
<b>ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА</b>	
<b>Буров А. М., Иванов М. В., Базбетов А. Р., Гайдукоев А. А.</b> Влияние конструкции буровых насосов на эффективность бурения нефтегазовых скважин	216
<b>Науомов В. А.</b> Взаимное соответствие номограмм, диаграмм производительности и рабочих характеристик поршневых бетононасосов	224
<b>УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ</b>	
<b>Поляков В. Г., Сабитова Т. А., Соболева Е. Д.</b> Сравнительные подходы к экономической и технической целесообразности спортивных сооружений на примере г. Волгограда	233
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА</b>	
<b>Габоева В. В., Бармин П. А., Петров В. Ю.</b> Расчет высоты факельной трубы и анализ ее влияния на компоновочные решения	241
<b>Кузнецова С. В., Махова С. И., Степанова Е. А.</b> Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы Волгоградской агломерации и их влияние на природно-технические системы и среду обитания человека	251
<b>Сухинина Е. А.</b> Экологическая оценка проектов архитектором	261
<b>АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ</b>	
<b>Митягин С. Д., Шечук И. В., Мельникова Е. И., Колышев Ю. Б., Соколов И. И.</b> Выделение функциональных зон и их анализ в природном парке «Стрижамент»	271

---

<b>Плешивцев А. А.</b> Аспекты применения приемов нетрадиционной технологичности для восстановления функционального качества строительных объектов жилого назначения	278
<b>Растяпина О. А.</b> Определение показателей оценки благоустройства дворового пространства	287
<b>Растяпина О. А., Крахоткин С. М., Фень К. А.</b> Основы строительства гидротехнических сооружений, определяющие их безопасность, на примере ГЭС «Санься» в Китае	297
<b>Тисленко А. А., Шаповалова Н. М., Матовников С. А.</b> Отражение философии бренда через дизайн интерьера офисных пространств. Брендирование интерьера	311
ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ	
<b>Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П., Гришин С. С.</b> Конструктивные особенности и экологичность гибридного ветро-солнечного энергопреобразователя волнового типа	322
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ	
<b>Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В.</b> Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий	329
<b>Кабанов В. Н.</b> Информационная модель объема рынка строительства жилья	336
<b>Сабитов Л. С., Коноплев Ю. Г., Радайкин О. В.</b> Компьютерное моделирование системы «комбинированная башня — железобетонный фундамент — грунт основания» ветроэлектрической установки для оценки ее эффективности	345
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН СТРОИТЕЛЬНОГО И АРХИТЕКТУРНОГО НАПРАВЛЕНИЙ В ВУЗЕ	
<b>Ермилова Н. Ю., Василенко В. А., Маринина О. Н.</b> Реализация принципа наглядности при изучении графических дисциплин в школе и вузе	356
<b>От редколлегии</b>	367

## Content

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

<b>Gritsenko B. S., Pshenichkina V. A., Khalap N. N.</b> Service life forecasting for reinforced concrete structures with deflections beyond the standard values	6
<b>Koyankin A. A., Mitasov V. M.</b> Experimental studies of the influence of the height of the monolithic zone of concrete on the stress-strain state of the precast-monolithic bending element	20
<b>Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A.</b> Engineering-geological problems of development of territories of distribution of dispersed soils in seismically active regions	30
<b>Pshenichkina V. A., Sukhina K. N., Sukhin K. A., Dubovskii M. E.</b> Analysis of the stress-strain state of the metal crane girders with the mismatch circuits realized constructive	38
<b>Cherednichenko T. F., Tukhareli V. D., Gabbasov R. T.</b> Modern trends in the design of floor coverings for various purposes with a hardened top layer	47
<b>Chesnokova O. G., Chesnokova V. D., Chesnokova M. D.</b> Investigation of temperature conditions of boundary zones of multilayer building envelope structure	58

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

<b>Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Boldin A. I.</b> Justification of technical limitations in the design of parking lots on city roads	67
<b>Devyatov M. M., Volkov V. S., Vilkova I. M., Gagulina O. V.</b> Formation of the system of indicators of visual information and aesthetic model for the digital road and transport infrastructure of the city environment	77
<b>Devyatov M. M., Volkov V. S., Gagulina O. V., Shchebetko D. A.</b> Methodology for forming architectural-landscape and aesthetic appearance of the road to increase the convenience and safety of motion	92
<b>Korosteleva N. V., Basov V. A.</b> Prospects of organization of transport and transfer nodes in large cities (on the example of Volgograd)	108

### BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

<b>Gaishun E. S., Filippova A. A., Gaishun A. S., Yavruyan Kh. S., Kotlyar V. D.</b> The perspective of using raw materials for the production of ceramic stones from the heaps of East Donbas	118
<b>Golova T. A., Magerramova I. A., Andreeva N. V.</b> Production technology of non-autoclaved foam concrete, dispersed reinforced with modified fibers	126
<b>Goncharova M. A., Akchurin T. K., Kosta A. A.</b> Research of corrosion resistance of heat-resistant slas concrete with a long-term exposure in an aggressive sulfate environment	136
<b>Gur'eva V. A., Il'ina A. A.</b> Features of composition and thermal changes of technogenic serpentinite as raw material for production of construction ceramics	142
<b>Kazaryan S. O.</b> Stabilizing additives for crushed stone-mastic asphalt concrete based on highly dispersed porous mineral materials	149
<b>Loganina V. I., Kuimova E. I.</b> Assessment of completeness of quality control of building materials	157
<b>Polozhnov A. V., Magomedov Sh. I.</b> Experience of using waste of industrial enterprises of the Lower-Volga region in the manufacture of construction composites of various functional purpose	163
<b>Polozhnov A. V., Magomedov Sh. I.</b> Technological approaches to the formation of construction composites using waste of industrial enterprises of the Lower Volga region	169
<b>Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Utyugova E. S.</b> Efficiency of application of integrated organomineral additives for concretes	174

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

<b>Moskvicheva E. V., Radchenko O. P., Klochkov D. P.</b> The composition of wastewater generated after washing of vehicles at construction sites	182
<b>Fomichev V. T., Gubarevich G. P., Savchenko A. V.</b> Electrodialysis water chromine-water cleaning in non-stationary mode	190

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

<b>Suslov D. Yu., Temnikov D. O.</b> The optimum location of the biomethane plant and the station for feeding biomethane to the gas supply systems	196
<b>Chicherin S. V.</b> Minimizing heat losses and enhancing reliability of a district heating network — analyzing project records and as-builts	204

TECHNOLOGIES AND CONTROL IN CONSTRUCTION

- Burov A. M., Ivanov M. V., Bazbetov A. R., Gaidukov A. A.** Influence of the construction of the work on the effectiveness of the new nosis 216
- Naumov V. A.** Mutual correspondence of nomograms, performance diagrams and working characteristics of piston concrete pumps 224

CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY

- Polyakov V. G., Sabitova T. A., Soboleva E. D.** Evaluation of economic and technical efficiency of use of sports structures 233

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Gabova V. V., Barmin P. A., Petrov V. Yu.** Calculation of height of a torch pipe and analysis of its influence on layout decisions 241
- Kuznetsova S. V., Makhova S. I., Stepanova E. A.** Engineering-geological and geoecological problems of Volgograd agglomeration and their influence on natural-technical systems and human resident 251
- Sukhinina E. A.** Environmental evaluation of projects by architect 261

GENERAL ARCHITECTURE

- Mityagin S. D., Shevchuk I. V., Mel'nikova E. I., Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I.** Selection of functional zones and their analysis in the natural park "Strizhament" 271
- Pleshivtsev A. A.** Aspects application of methods with non-traditional technology for restoration and improvement functional quality at objects residential purpose 278
- Rastyapina O. A.** Definition of indicators of assessment of the improvement of the yard space 287
- Rastyapina O. A., Krakhotkin S. M., Fen' K. A.** Bases of construction of hydrotechnical structures determining their safety on the example of Sansia HPP in China 297
- Tislenko A. A., Shapovalova N. M., Matovnikov S. A.** Reflection of philosophy of the brand through interior design of office spaces. Branding of the interior 311

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

- Strekalov S. D., Strekalova L. P., Grishin S. S.** Construction features and ecologicality of a hybrid wind-solar wave type energy converter 322

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Burlachenko O. V., Burlachenko A. O., Oganesyanyan O. V.** The selection of optimal technological solutions in conditions of dense urban development based on BIM-technologies 329
- Kabanov V. N.** Information model of housing construction market volume 336
- Sabitov L. S., Konoplyov Yu. G., Radajkin O. V.** Computer simulation of the system "Combined tower — reinforced concrete foundation — ground base" of wind turbine 345

TEACHING METHODS FOR DISCIPLINES OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURAL BRANCHES OF LEARNING IN INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION

- Ermilova N. Yu., Vasilenko V. A., Marinina O. N.** Realization of the principle of presentation when studying graphic disciplines at school and higher education institution 356

- From Editorial Team** 367

УДК 69.059.4

**Б. С. Гриценко, В. А. Пшеничкина, Н. Н. Халап**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОГИБАХ**

В статье изложен вероятностно-статистический подход при оценке ресурса железобетонных конструкций с прогибами, превышающими нормируемые величины. Приведены результаты диагностики плит и балок покрытия трехэтажного здания. Предложены единые деформационные критерии для оценки надежности железобетонных конструкций в стадии эксплуатации по прочности, жесткости и раскрытию трещин. Каждый критерий определяется с заданной обеспеченностью. Рассмотренные деформационные критерии предназначаются для оценки эксплуатационной надежности железобетонных конструкций.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, эксплуатационная надежность, ресурс, диагностика конструкций, ползучесть бетона.

### **Введение**

Железобетон является основным строительным материалом при возведении зданий и сооружений различного назначения в силу таких его свойств, как долговечность, высокая сопротивляемость статическим и динамическим нагрузкам, стойкость против атмосферных воздействий, малые расходы по эксплуатации. Но эти характеристики присущи железобетонным конструкциям, эксплуатируемым в относительно нормальных условиях. При интенсивной эксплуатации конструкций происходит снижение уровня их надежности, обусловленное процессами физического износа, коррозией, накоплением повреждений и пластических деформаций под влиянием внешней среды и переменных нагрузок [1], что приводит к таким негативным явлениям, как аварии и катастрофы, увеличение расходов материальных и трудовых затрат на их восстановление и ремонт. Важным фактором ускоренного износа и повреждений железобетонных конструкций является наличие в них дефектов, связанных с недостаточным техническим уровнем проектирования и конструирования, нарушением технологии изготовления железобетонных конструкций и производства работ, недостаточностью контроля качества [2, 3].

Все эти факторы имеют случайную природу, и, как отмечено в работе [4], их невозможно учесть в единой аналитической детерминированной модели для имитации реального процесса износа конструкций. Надежность железобетонных конструкций и, соответственно, ресурс могут изменяться в достаточно широких пределах.

Задача прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации относится к конкретному объекту, зависит от особенностей его индивидуального состояния и может быть корректно решена методами теории надежности только на основе данных текущего диагностирования дефектов и повреждений конструкций, данных о нагрузках и условиях взаимодействия сооружения с внешней средой и данных, заложенных при проектировании. При этом для обеспечения целевого уровня надежности на протяжении всего периода эксплуа-

тации конструкций зданий и сооружений определяющую роль играет их периодическое освидетельствование и техническое обслуживание [5].

Для прогнозирования ресурса используется расчетно-экспериментальный метод<sup>1</sup>, при котором показатели надежности (ресурса) всех или некоторых конструкций определяют по результатам испытаний, а показатели надежности объекта в целом рассчитывают с использованием математической модели. Очевидно, что оценка ресурса должна проводиться с применением вероятностно-статистического подхода и методов теории надежности с учетом физико-механических процессов изменения свойств материалов конструкций во времени [6—8].

Строительные нормы содержат минимальные требования, которые в случае их соблюдения обеспечивают приемлемую вероятность того, что данный конструктивный элемент будет выполнять свою функцию независимо от вида разрушения. Но приемлемые вероятности различны для различных состояний, так как различны последствия их реализации. Эти последствия группируются по двум категориям (двум группам предельных состояний).

Первая группа предельных состояний, связанная с исчерпанием несущей способности конструкций, оценивает безопасность при учете таких факторов, как редкие стихийные воздействия, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации, грубые ошибки на всех жизненных циклах сооружения. И задача эксплуатирующих организаций состоит в том, чтобы путем соблюдения правил технической эксплуатации свести до минимума риск возникновения аварийной ситуации. Расчеты на безопасность по отношению к аварийным ситуациям следует проводить с учетом нагрузок при нормальной эксплуатации здания или сооружения, а также с учетом повреждений, которые накапливаются в конструкциях по мере приближения к предельному состоянию [9].

С позиции теории надежности предельные состояния второй группы определяют эксплуатационную надежность конструкции. При оценке эксплуатационной надежности в качестве расчетных параметров принимаются текущие значения прогибов, ширина и глубина раскрытия трещин. Они определяются на начало эксплуатации. Как эти расчетные и допустимые значения параметров будут сказываться в процессе длительной эксплуатации при ухудшении свойств материалов и износа сечений — неизвестно. Вместе с тем для многих видов конструкций допустимо значительное раскрытие трещин, если возможен их ремонт в процессе эксплуатации. То же касается и значений прогибов, если они не лимитированы технологическими требованиями.

В качестве примера приведены результаты оценки технического состояния и несущей способности железобетонных плит и балок покрытия и перекрытий здания с целью обеспечения механической (конструктивной) безопасности здания на стадии разработки проекта реконструкции.

#### **Результаты диагностики плит и балок покрытия трехэтажного здания**

Здание трехэтажное, высотой 16,75 м, П-образной формы размерами в плане 33,41 × 38,0 м. Конструктивная схема здания — неполный каркас с наружными несущими кирпичными стенами и внутренними кирпичными несущими столбами. Несущие конструкции перекрытий и покрытия — сборные железобетонные плиты и балки. Общий вид здания приведен на рис. 1.

<sup>1</sup> ГОСТ 27.002—89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.



Рис. 1. Общий вид здания

Диагностика несущих конструкций проводилась поэтапно:

- визуально-измерительный и выборочный инструментальный контроль;
- оценка напряженно-деформированного состояния и поверочные расчеты балок и плит перекрытий с учетом состояния бетона и арматуры, деформированного состояния, наличия дефектов;
- оценка технического состояния с выделением отдельных конструкций для проведения предложенных коррективных мероприятий.

Произведена выборочная оценка механических характеристик материалов балок и плит перекрытий с помощью стандартных методик и методов неразрушающего контроля, а также инструментальный контроль деформированного состояния балок.

Определение положения арматуры производилось электромагнитным неразрушающим методом контроля по ГОСТ 22904—2010<sup>2</sup> с использованием прибора ИПА-МГ4.01. Оценка прочностных характеристик бетона несущих конструкций выполнялась с помощью стандартных методов ультразвукового контроля (ГОСТ 17624—2012<sup>3</sup>, прибор «Пульсар-1.2»).

Контроль деформированного элементов перекрытий состояния проводился геодезическими методами нивелирования прибором 4Н-2КЛ.

В процессе обследования выявлены четыре типа сборных ребристых плит перекрытий: плиты полигонного изготовления в деревянной опалубке ПС-1, ПС-2, ПС-3, ПС-4 различной конструктивной длины и четыре типа сборных железобетонных балок полигонного изготовления, отличающихся пролетами: БС-1, БС-2, БС-3, БС-4.

<sup>2</sup> ГОСТ 22904—93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.

<sup>3</sup> ГОСТ 17624—2012. Бетоны Ультразвуковой метод определения прочности.

При диагностировании установлено:

- плиты и балки имеют значительные отклонения в размерах сечений: коэффициент вариации размеров плит более 0,14, балок — 0,12;
- имеются отклонения в армировании отдельных плит и балок (диаметры арматуры, толщины защитных слоев, расстояние между рядами арматуры, поэтому при оценке несущей способности указанных плит принимались фактически установленные средние характеристики армирования);
- коррозионный износ рабочей арматуры незначителен (менее 5 %);
- выраженных нормальных и наклонных трещин, а также продольных трещин в защитном слое бетона, ориентированных вдоль рабочей арматуры в балках и большинстве плит, не выявлено.
- сцепление рабочей арматуры с бетоном, оцениваемое при выборочном вскрытии отдельных участков и ультразвуковым методом, обеспечивает совместную работу бетона и арматуры;
- значительное число плит всех типов, а также балок БС-1 и БС-2 имеют выраженные прогибы (рис. 2).



Рис. 2. Балки перекрытия БС-2 с визуально фиксируемыми прогибами

Для количественной оценки имеющихся визуально фиксируемых прогибов плит произведен выборочный геодезический контроль объемом по 12 плит ПС-1 и ПС-2. Результаты контроля приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Прогибы плит перекрытий ПС-1 и ПС-2,  
выбранных экспертным контролем по качественному признаку*

Плиты	ПС-1	ПС-2
Диапазон прогибов, мм	4...25	4...20
Среднее значение, мм	17	15

Гистограммы распределения прогибов для каждого типа балок представлены на рис. 3, статистические характеристики прогибов балок БС-1 и БС-2 — в табл. 2.

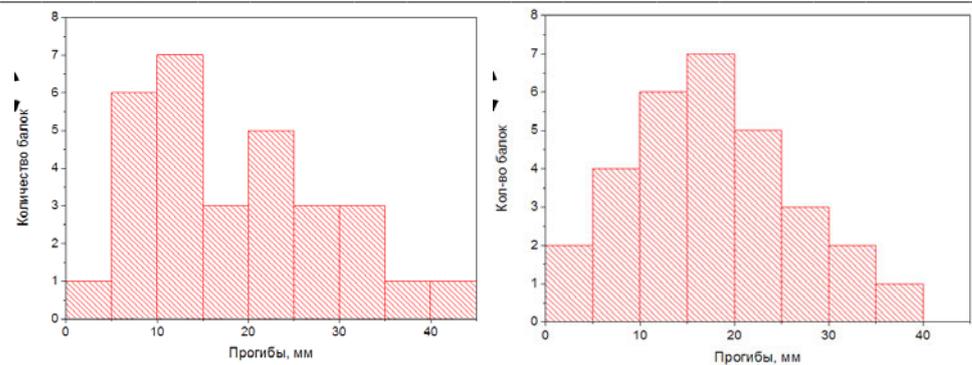


Рис. 3. Гистограммы распределения прогибов для балок БС-1 и БС-2

Для оценки состояния балок перекрытий произведен геодезический контроль прогибов наиболее нагруженных балок БС-1 и БС-2, имеющих осевые пролеты соответственно 6,38 м и 5,9 м. Объем выборочного контроля — по 30 штук сдвоенных балок каждого типа.

Т а б л и ц а 2

Статистические характеристики прогибов балок БС-1 и БС-2

Характеристика	Балки БС-1 (6,38 м)	Балки БС-2 (5,9 м)
Среднее значение, мм	17,7	18,2
Среднее квадр. отклон., мм	8,8	10,5
Прогиб с обесп. 95 %	32	35
Коэффициент вариации	0,5	0,57

Указанные прогибы измерены при действии только нагрузок от собственного веса плит перекрытий. Нормируемые предельные прогибы для балок БС-1 ~ 31 мм, для БС-2 — 28 мм. Средние величины прогибов для балок БС-1 составляют ~ 57 % от предельных величин, для балок БС-2 — 65 %.

Определены механические характеристики арматуры сборных плит и балок по результатам вскрытия защитного слоя бетона растянутых зон (рис. 4) и в том числе с использованием отобранных трех контрольных образцов арматуры.

По результатам диагностики выявлено:

1. Плиты армированы горячекатаной круглой и овальной арматурой марки стали МСт. 3 ГОСТ 380—60 (880—57) с расчетным сопротивлением ~ 1900 кГ/см<sup>2</sup> (предел текучести ~ 2300 кГ/см<sup>2</sup>). Модуль упругости 2,1 · 10<sup>6</sup> кГ/см<sup>2</sup>. Диаметры арматуры Ø 7, 10, 12 мм.

2. Балки армированы горячекатаной круглой арматурой марки стали МСт. 3 (Ø 7, 10, 12, 16) и МСт. 5 (Ø 18, 20, 22) ГОСТ 380—60 (880—57) с расчетным сопротивлением 2700 кГ/см<sup>2</sup> (предел текучести 2800 кГ/см<sup>2</sup>). Модуль упругости 2,1 · 10<sup>6</sup> кГ/см<sup>2</sup>.

Оценка прочности бетона плит и балок произведена с использованием неразрушающего ультразвукового метода контроля. Проведен контроль 36 плит. Средняя прочность бетона всей партии плит может быть принята  $R_m \sim 20$  МПа, а класс бетона без оценки однородности — В15.



Рис. 4. Характерные виды балок со вскрытыми участками арматуры

Аналогично проведен контроль для 30 наиболее нагруженных балок типа БС-1 и БС-2 с выраженными прогибами. Средняя прочность бетона балок может быть принята  $R_m \sim 20$  МПа, а класс бетона без оценки однородности — В15. Размеры и характеристики балок БС-1 и БС-2 представлены на рис. 5.

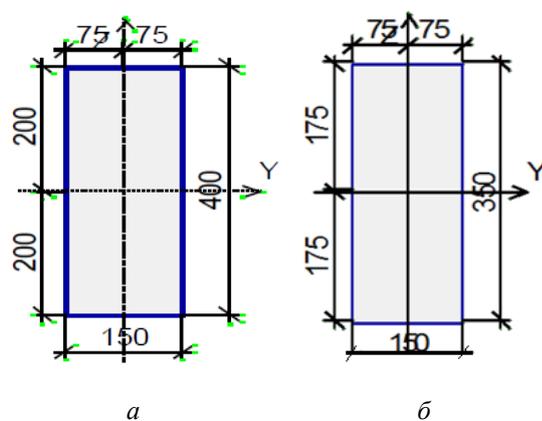


Рис. 5. Конструктивное решение: *a* — балки БС-1; *б* — балки БС-2

### Размеры и характеристики балки БС-1

Армирование:

продольное нижнее  $2 \text{ } \varnothing 22 + 2 \text{ } \varnothing 20$  МСт. 5,  $\delta = 50$  мм;

верхнее  $2 \text{ } \varnothing 12$  МСт. 3;

поперечное  $2 \text{ } \varnothing 7$  МСт. 3, шаг 150...180 мм;

Бетон:

тяжелый;

класс бетона: В15;

плотность бетона  $2,5 \text{ Т/м}^3$ .

### Размеры и характеристики сечения балки БС-2

Армирование:

продольное нижнее 2 Ø 20 + 2 Ø 16 МСт. 3;

$\delta = 30...50$  мм;

верхнее 2 Ø 10 МСт. 3;

поперечное 2 Ø 7 МСт. 3, шаг 200 мм;

Бетон:

тяжелый;

класс бетона по прочности: В15;

плотность бетона 2,5 Т/м<sup>3</sup>.

Оценка напряженно-деформированного состояния и несущей способности сборных конструкций указанных перекрытий проведена в вычислительной среде модулей ППП «SCAD v. 21.1» после оценки контрольных прогибов элементов, с учетом результатов натурной оценки геометрии сечений, характера сопряжения конструкций, оценки прочностных характеристик бетона и арматуры, схем армирования и величин предполагаемых проектных нагрузок.

Расчет несущей способности наиболее нагруженных плит перекрытия ПС-1 и ПС-2 проводился на действие постоянной ( $q = 1,66$  кН/м. п.) и временной длительно действующей ( $p = 1,44$  кН/м. п.) нагрузок.

Результаты расчета показали, что плиты ПС-1 и ПС-2 без критических дефектов соответствуют критериям первой и второй групп предельных состояний.

Проведена оценка напряженно-деформированного состояния и несущей способности сборных балок перекрытий БС-1 и БС-2 на действие постоянной ( $q = 8,65$  кН/м. п.) и временной длительно действующей ( $p = 3,6$  кН/м. п.) нагрузок. Расчетный пролет для БС-1 — 6,15 м, для БС-2 — 5,6 м. Результаты расчета приведены в табл. 3 и 4.

Т а б л и ц а 3

Результаты оценки несущей способности балок БС-1

Коэффициент использования	Проверка
0,692	Прочность по предельному моменту сечения
0,41	Деформации в сжатом бетоне
0,037	Деформации в растянутой арматуре
0,381	Ширина раскрытия трещин (кратковременная)
0,508	Ширина раскрытия трещин (длительная)
0,265	Прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями
0,608	Прочность по наклонному сечению

Максимальный прогиб — 26,5 мм

Т а б л и ц а 4

Результаты оценки несущей способности балок БС-2

Коэффициент использования	Проверка
0,898	Прочность по предельному моменту сечения
0,516	Деформации в сжатом бетоне
0,046	Деформации в растянутой арматуре

Коэффициент использования	Проверка
0,741	Ширина раскрытия трещин (кратковременная)
0,988	Ширина раскрытия трещин (длительная)
0,263	Прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями
0,603	Прочность по наклонному сечению

Максимальный прогиб — 31 мм

Установлено, что расчетные характеристики сборных железобетонных балок БС-1, БС-2, БС-3, БС-4 без критических дефектов, соответствуют критериям первой и второй групп предельных состояний. При этом наиболее высокий уровень НДС имеют балки БС-2. Так, уровень использования запасов по прочности и трещиностойкости балок БС-2 превышает 80 %.

Фактические нагрузки на указанные балки на момент проведения диагностики: только постоянные нагрузки (собственный вес плит и вес балок) составляют ~ 4,1 кН/м. п. Расчетные и фактические прогибы для балок БС-1 и БС-2 при воздействии различных нагрузок приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Прогибы для балок БС-1 и БС-2

Типы балок/прогибы	БС-1	БС-2	Примечания
Расчетный средний прогиб при полной расчетной нагрузке (8,6 ÷ 3,6 кН/м. п.), $f_{sum}$ , мм	25	31	Полные расчетные нагрузки соответствуют проекту
Расчетный средний прогиб при действии только постоянных нагрузок (4,1 кН/м. п.), $f_1$ , мм	10,5	10,4	Только постоянные нагрузки (4,1 кН/м. п.), $f_1$ , мм
Расчетный средний прогиб при действии дополнительных нагрузок до уровня полных расчетных нагрузок, $f_2$ , мм, (8,6 ÷ 3,6 кН/м. п.)	14,5	20,6	
Фактический средний прогиб при нагрузках (4,1 кН/м.п.) /при коэффициенте вариации, $f_{1real}$ , мм	26,5/0,5	31/0,57	
Средний остаточный прогиб, для контрольных выборок балок при нагрузках 4,1 кН/м. п., $f_{\Delta} = f_{1real} - f_1$ , мм	16,0	20,6	
Полный прогиб с учетом остаточного прогиба при действии полной расчетной нагрузки (8,6 ÷ 3,6 кН/м. п.) может составить, $f_{lim} = f_{sum} + f_{\Delta}$ , мм	40,5	51,6	
Нормативные допустимые прогибы балок, $f_{ult}$ , (СП 20.13330—2016)	0,005L, ~ 30 мм	0,005L, ~ 30 мм	
Превышение нормативных прогибов при последующей эксплуатации может составить, $(f_{lim} / f_{ult})100$ %	133 %	172 %	

Таким образом, наиболее нагруженные балки БС-1 и БС-2 на стадии эксплуатации могут иметь запредельные прогибы с учетом ранее накопленных остаточных деформаций. При этом прочность, трещиностойкость и деформа-

тивность указанных балок при действии проектных нагрузок без учета остаточных прогибов соответствуют положениям норм<sup>4</sup>.

Величина предельных прогибов (для элементов перекрытий, открытых для обзора) определяется эстетико-психологическими критериями и конструктивными ограничениями.

Величины коэффициентов вариации фактических прогибов балок показывают наличие отдельных балок с прогибами, превышающими уровень +95 %.

Остаточные прогибы таких балок на момент проведения диагностики обусловлены:

- нарушением технологии в процессе изготовления указанных конструкций непосредственно на строительной площадке (раннее распалубливание);
- при дополнительных нагрузках на перекрытия в помещениях столовой, актового зала, санузлов в процессе эксплуатации, в том числе устройство дополнительных стяжек в помещениях санузлов и столовой, увлажнение шлакового утеплителя;
- при воздействии веса кирпичных перегородок, расположенных непосредственно над балками (не учтено при проектировании);
- при воздействии коррозионно-активной среды на арматуру и бетон (увлажнение шлаковой засыпки) в помещениях с мокрым режимом (санузлы, столовая);
- заниженными прочностными и деформационными характеристиками бетона;
- увеличенными защитными слоями бетона для продольной рабочей арматуры;
- длительным сроком эксплуатации.

#### **Учет ползучести бетона при оценке его напряженно-деформированного состояния**

Все выявленные факторы привели к развитию деформаций ползучести бетона балок, имеющих существенное значение при определении их напряженно-деформированного состояния. Величины и законы нарастания деформаций ползучести бетона зависят от различных детерминированных и случайных параметров и условий: внутренней статической неопределенности, перераспределения во времени усилий между бетоном и арматурой, развития собственных напряжений от деформации усадки или набухания, возрастных изменений механических свойств, трещинообразования, неравномерного участия в работе растянутой зоны бетона и т. п. Это затрудняет теоретическое определение деформаций и делает его в значительной степени условным и приближенным.

Для количественного определения деформации ползучести вводят понятие меры ползучести [10]:

$$C^*(t, t_0) = \frac{1}{E_m^0(t_0)} - \frac{1}{E_m^0(t)} + C(t, t_0), \quad (1)$$

где  $E_m^0$  — начальный модуль упругости мгновенной деформации;  $t_0$  — момент начала нагружения;  $t$  — момент наблюдения;  $C^*(t, t_0)$  — мера ползуче-

<sup>4</sup> СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции.

сти от момента загрузки без учета влияния измененного модуля упругости мгновенной деформации;  $(t - t_0)$  — продолжительность нагружения.

При инженерном расчете и оценке ресурса железобетонных конструкций целесообразно применение интегральной оценки деформативных свойств железобетона, предложенной В. М. Бондаренко [10]:

$$\varepsilon^{\text{ин}}(t, t_0) = \frac{\sigma(z, t)}{E^{\text{ин}}(v, t)}, \quad (2)$$

где  $E^{\text{ин}}(v, t)$  — интегральный модуль деформации для сечения по оси  $v$ , направленной вдоль стержня. Интегральный модуль комплексно учитывает неоднородное напряженно-деформированное состояние железобетонного элемента, наличие трещин в растянутой зоне, различие модулей деформаций в точках с различными напряжениями. В каждой точке неоднородно напряженного сечения дискретный модуль заменяется единым интегральным модулем путем минимизации отклонения, которая осуществляется для сечения в целом:

$$\Delta = \varepsilon[\sigma(z, t), t, t_0] - \varepsilon^{\text{ин}}[\sigma(z, t), t, t_0]. \quad (3)$$

При линейном деформировании, характерном для нормальных эксплуатационных условий конструкций, а также с учетом длительной эксплуатации ( $t_0 = \tau \rightarrow \infty$ ) интегральный модуль совпадает с временным модулем деформации [10—12]:

$$E^{\text{ин}}(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} = \frac{E(t)}{1 - \frac{E(t)}{\sigma(t)} \int_{\tau_1}^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \delta(t, \tau) d\tau}, \quad (4)$$

где  $\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau)$  — полная относительная деформация элемента;

$\frac{1}{E(\tau)}$  — упруго-мгновенная деформация бетона;  $E(\tau) = E_0(1 - be^{-\beta\tau})$  — модуль упруго-мгновенной деформаций;  $E_0$  — модуль упруго-мгновенных деформаций старого бетона;  $b, \beta$  — опытные коэффициенты, зависящие от состава бетона и условий его твердения;  $C(t, \tau)$  — мера ползучести бетона. Зависимости, аппроксимирующие  $C(t, \tau)$  для различного возраста бетона, даны И. Е. Прокоповичем [13].

Методика расчета прогибов железобетонных балок и плит при действии кратковременных и длительных нагрузок с учетом явлений ползучести и усадки приведена в работе [14].

#### **Вероятностный подход к расчету изгибаемых элементов по деформациям**

В настоящее время нормирование предельных состояний второй группы, в отличие от первой, не обеспечено четкими критериями.

Вместе с тем критерии предельных состояний второй группы могут быть установлены по выходным параметрам  $U_{пр}$ , если предусмотреть работу конструкций в стадии II на момент образования пластического шарнира. Такие критерии позволяют решать задачи оценки ресурса конструкций при эксплуатации в условиях неопределенности, при которой должна быть реализована вероятность ненаступления предельного состояния с заданной обеспеченностью.

В общем случае предельные состояния эксплуатируемых конструкций должны определяться не силовыми факторами, а предельными деформациями. Предельные состояния по прочности должны нормироваться усилиями, соответствующими началу пластической стадии, а предельные состояния второй группы — моменту образования пластического шарнира. При этом определяются предельно допустимый прогиб конструкции и предельно допустимая ширина раскрытия трещин. Эти величины могут быть использованы в качестве диагностических параметров при эксплуатации.

В момент образования пластического шарнира напряжения в растянутой арматуре достигают предела текучести  $R_s$ , а сцепление арматуры с бетоном сохраняется до начала текучести арматуры по всей длине между трещинами. Растянутый бетон на локальном участке в сечении с трещиной выключается из работы. Предельные состояния в стадии II могут быть установлены при оценке ресурса конструкций, в которых не допускается интенсивный рост остаточных деформаций, вызывающих необходимость ремонта. При этом должны быть исключены не вообще остаточные деформации, а только те, которые затрудняют дальнейшую эксплуатацию зданий. Условия данного предельного состояния являются деформационными, устанавливающими ограничения на деформации сжатого бетона  $\epsilon_b = R_b/E_b$  и растянутой арматуры  $\epsilon_s = R_s/E_s$ , соответствующие началу пластической стадии. Для этого используются действительные или идеализированные диаграммы деформирования бетона и арматуры и определяются предельно допустимый прогиб  $f_{ult}$  и предельно допустимая ширина раскрытия трещин  $a_{cr,ult}$ , которые должны контролироваться службой эксплуатации. Критерием возникновения пластических деформаций являются расчетные характеристики бетона и арматуры для предельных состояний II группы  $R_{bt,ser}$  и  $R_{s,ser}$ , представляющие собой случайные величины, значения которых изменяются в достаточно широких пределах. Появление пластических деформаций зависит и от других случайных переменных величин: действительных размеров конструкций, случайных параметров нагрузки и внешней среды. В каждом конкретном случае пластические деформации возникнут только при определенной вероятности появления некоторых значений рассматриваемых величин. При оценке безопасности конструкций (предельные состояния первой группы) используются диагностические параметры:  $f_{ult}$  и  $a_{cr,ult}$ , которые определяются при расчетных значениях нагрузок и предельных деформациях.

При расчете на эксплуатационную пригодность сечений элементов в вероятностной постановке используются общие выражения для расчета прочности, жесткости и раскрытия трещин, прежде всего для высоты сжатой зоны

$x_m$  и моментов сопротивления. Эти основные геометрические характеристики сечений входят как в расчет прочности, так и в расчет жесткости и раскрытия трещин.

Надежность (обеспеченность) сечения элемента вычисляется по формуле:

$$P(t) = 0,5 + \Phi(\gamma), \quad (5)$$

где  $\gamma$  — индекс надежности  $\gamma = \frac{\bar{M}_{ш} - \bar{M}_{вн}}{\sqrt{D_{Mш} + D_{Mвн}}}$ ;  $\Phi(\gamma)$  — функция Лапласа;

$$\Phi(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\gamma} \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2}\right) d\gamma; \quad \bar{M}_{ш}, \bar{M}_{вн}, D_{Mш}, D_{Mвн} — соответственно ма-$$

тематические ожидания и дисперсии момента в пластическом шарнире и внутреннего момента в сечении элемента.

Тогда расчетное значение напряжений в арматуре и бетоне будет определяться с заданной обеспеченностью:

$$\sigma_s = \bar{\sigma}_s + \gamma\sqrt{D_s} \leq R_{sn}; \quad \sigma_b = \bar{\sigma}_b + \gamma\sqrt{D_b} \leq R_{bn}. \quad (6)$$

Математическое ожидание кривизны элемента с трещинами в растянутой зоне от действия кратковременных, постоянных и временно длительных нагрузок:

$$\frac{\bar{1}}{r} = \bar{\zeta} = \bar{\zeta}_1 + \bar{\zeta}_2 + \bar{\zeta}_3. \quad (7)$$

Вычисляется кривизна перед образованием трещин и кривизна при достижении предела текучести в растянутой арматуре.

Дисперсия кривизны:

$$D_{\zeta} = \left(\frac{\partial \zeta}{\partial M}\right)^2 D_M + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial W_s}\right)^2 D_{W_s} + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial E_s}\right)^2 D_{E_s} + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial h_0}\right)^2 D_{h_0}, \quad (8)$$

где  $D_M, D_{W_s}, D_{E_s}, D_{h_0}$  — дисперсии соответственно внешнего изгибающего момента, момента сопротивления, модуля деформации арматуры, рабочей высоты элемента.

Математическое ожидание ширины раскрытия трещин в изгибаемых элементах находится по формуле:

$$\bar{a}_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \Psi_s \frac{\bar{\sigma}_s}{E_s} l_s. \quad (9)$$

Дисперсия:

$$D_{a_{crc}} = \left(\frac{\partial a_{crc}}{\partial \sigma_s}\right)^2 D_{\sigma_s} + \left(\frac{\partial a_{crc}}{\partial E_s}\right)^2 D_{E_s}. \quad (10)$$

Ширина раскрытия трещины с заданной обеспеченностью:

$$a_{crc} = \bar{a}_{crc} + \gamma\sqrt{D_{a_{crc}}}. \quad (11)$$

Знание величины высоты сжатой зоны  $x_m$ , упругопластических моментов сопротивления сечения и кривизны элемента позволяет с единых позиций производить расчет прочности, жесткости и раскрытия трещин изгибаемых внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов.

### Выводы

Экспериментальные исследования состояния железобетонных конструкций показывают, что на стадии эксплуатации для них допустимы предельные прогибы с учетом ранее накопленных остаточных деформаций при достаточных запасах несущей способности, если это не противоречит технологическим требованиям. При оценке напряженно-деформированного состояния таких конструкций следует учитывать фактор ползучести бетона.

Предложены общие критерии для оценки эксплуатационной надежности железобетонных конструкций по выходным деформационным параметрам: кривизны элемента перед образованием трещин и при достижении предела текучести в растянутой арматуре, а также ширины раскрытия трещин на момент образования пластического шарнира. В каждом конкретном случае пластические деформации возникнут только при определенной вероятности появления некоторых значений рассматриваемых величин, поэтому все параметры определяются с заданной обеспеченностью.

Рассмотренные деформационные критерии предназначаются для оценки эксплуатационной надежности железобетонных конструкций. Величины предельно допустимых прогибов конструкции и предельно допустимой ширины раскрытия трещин могут быть использованы в качестве диагностических параметров при эксплуатации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Murashkin G. V., Murashkin V. G.* Durability of operating concrete and reinforced concrete structures // Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Vol. 1. Iss. 2. Pp. 154—159.
2. *Efimov S., Bokarev S., Pribytkov S.* Durability of operated reinforced concrete superstructures of railroad bridges // X International scientific and technical conference polytransport systems. Book series: MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 216.
3. *Gjorv O.* Durability of Concrete Structures // Science and Engineering. № 36(2). 2011. Pp. 151—172.
4. *Sanjeev K. V., Sudhir S. B., Saleem A.* Probabilistic Evaluation of Service Life for Reinforced Concrete Structures // Hindawi Publishing Corporation Chinese Journal of Engineering. Vol. 2014. 8 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/648438>.
5. *Yasuhiro Mori, Bruce R. Ellingwood.* Reliability Based Service-Life Assessment of Aging Concrete Structures // Structural Engineering. 1993. Vol. 119.
6. Оценка остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций эксплуатируемых промышленных зданий : монография / В. А. Пшеничкина, К. Н. Сухина, В. С. Бабалич, К. А. Сухин. М. : АСВ, 2017. 176 с.
7. Reliability assessment and life prediction for serviceability of concrete bridges / D.-G. Lu, W. Jiang, X.-P. Fan, Y.-X. Yang // The 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP 11). Conference Paper (PDF Available). June 2011.
8. *Cheung M. S., Kyle B. R.* Service life prediction of concrete structures by reliability analysis // Construction and Building Materials. 1996. Vol. 10. Iss. 1. Pp. 45—55.
9. *Болотин В. В.* Ресурс машин и конструкций. М. : Машиностроение, 1990. 448 с.
10. *Бондаренко В. М., Бондаренко С. В.* Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М. : Стройиздат, 1982. 287 с.
11. *Арутюнян Н. Х.* Некоторые вопросы теории ползучести. М. : Гостехтеориздат. 1952. 324 с.
12. *Ржаницын А. Р.* Теория ползучести. М. : Стройиздат, 1968. 418 с.
13. *Прокопович И. Е.* Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений. М. : Госстройиздат, 1963. 260 с.

14. Gilbert R. The Serviceability Limit States in Reinforced Concrete Design // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 385—395.

© Гриценко Б. С., Пшеничкина В. А., Халап Н. Н., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Гриценко Б. С., Пшеничкина В. А., Халап Н. Н. Прогнозирование ресурса железобетонных конструкций при запредельных прогибах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 6—19.

Об авторах:

**Гриценко Борис Степанович** — доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [vsu\\_sk@mail.ru](mailto:vsu_sk@mail.ru)

**Пшеничкина Валерия Александровна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [rap\\_hm@list.ru](mailto:rap_hm@list.ru)

**Халап Наталья Наумовна** — старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [nhalap@mail.ru](mailto:nhalap@mail.ru)

**Boris S. Gritsenko, Valeriya A. Pshenichkina, Natal'ya N. Khalap**

**Volgograd State Technical University**

## SERVICE LIFE FORECASTING FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH DEFLECTIONS BEYOND THE STANDARD VALUES

The paper outlines the probabilistic and statistical approach to the servicelife assessment of reinforced concrete structures with deflections beyond the standard values, and provides the results of diagnostics of slabs and roof beams in a three-storeyed building. The uniform strain-based criteria are suggested for the reliability assessment of reinforced concrete structures during the operation phase in terms of strength, stiffness and crack opening width. Each criterion is determined with a given probability. The strain criteria under consideration are intended to assess the operational reliability of reinforced concrete structures.

**Key words:** reinforced concrete structures, operational reliability, service life, structural diagnostics, creep of concrete.

*For citation:*

Gritsenko B. S., Pshenichkina V. A., Khalap N. N. [Service life forecasting for reinforced concrete structures with deflections beyond the standard values]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 6—19.

*About authors:*

**Boris S. Gritsenko** — Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [vsu\\_sk@mail.ru](mailto:vsu_sk@mail.ru)

**Valeriya A. Pshenichkina** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [rap\\_hm@list.ru](mailto:rap_hm@list.ru)

**Natal'ya N. Khalap** — Senior Lecturer of of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [nhalap@mail.ru](mailto:nhalap@mail.ru)

УДК 69.07

**А. А. Коянкин<sup>а</sup>, В. М. Митасов<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Сибирский федеральный университет*

<sup>б</sup> *Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ МОНОЛИТНОЙ ЗОНЫ БЕТОНА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА**

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, целью которых являлось изучение влияния высоты монолитной зоны на напряженно-деформированное состояние и несущую способность сборно-монолитного изгибаемого элемента. Важной особенностью является то, что процесс монтажа и загрузки элемента являлся поэтапным, т. е. вначале происходила установка сборной части экспериментальных образцов и их загрузка нагрузкой, которая моделировала монтажную нагрузку (собственный вес сборных конструкций, монолитного бетона и т. д.). Далее укладывался монолитный бетон, после набора которым требуемой прочности осуществлялось догружение экспериментальных образцов вплоть до исчерпания ими несущей способности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сборно-монолитные конструкции, несущая способность, поэтапность монтажа, поэтапность загрузки.

В последние годы в России активно развивается сборно-монолитное домостроение [1—6], что вызвано рядом преимуществ такого вида домостроения, из которых главным плюсом, пожалуй, является возможность объединить положительные моменты отдельно сборного и монолитного здания, минимизировав их минусы. К примеру: обеспечение высокой степени пространственной жесткости каркаса за счет монолитного бетона, при этом отказавшись от опалубочных работ за счет устройства несъемных плит-опалубки и т. д.

И действительно, многие строительно-монтажные организации как на территории России, так и за ее пределами успешно освоили технологию сборно-монолитного строительства [1—3]. И на данный момент предложено достаточно обширное разнообразие каркасов [1, 4, 6, 7], которые позволяют удовлетворить практически любые потребности потребителя.

Однако за активным внедрением в практику строительства сборно-монолитной строительной системы во многом не поспевает теоретическая база [5, 9], позволившая бы осуществить качественное и надежное проектирование таких систем. При этом стоит отметить, что многие отечественные и зарубежные ученые активно ведут научную работу по изучению конструктивной работы как каркаса сборно-монолитного здания в целом, так и отдельных его конструктивных частей [6—16].

Проведя анализ существующих технических решений наиболее распространенных в практике строительства конструктивных систем сборно-монолитных зданий, а также рассмотрев научно-исследовательские работы различных ученых и инженеров, авторы данной статьи пришли к выводу, что слабо изучен вопрос влияния высоты монолитного слоя бетона на напряженно-деформированное состояние сборно-монолитного изгибаемого элемента в процессе поэтапного монтажа и загрузки конструкции. При этом в качестве монолитного бетона принят легкий бетон (керамзитобетон) исходя из той

предпосылки, что данное решение позволит существенно сократить вес уже изначально тяжелой железобетонной конструкции.

С этой целью авторами статьи были проведены экспериментальные исследования двух типов сборно-монолитных образцов (серии Б2 и Б4), которые отличались между собой одним фактором — высотой монолитной части, в частности:

образцы серии Б2 (общее количество — 3 шт.) — соотношение высот монолитного бетона  $h_m$  к сборному  $h_{сб}$  составило 0,75 ( $h_m = 60$  мм,  $h_{сб} = 80$  мм);

образцы серии Б4 (общее количество — 2 шт.) — соотношение высот составило 1,25 ( $h_m = 60$  мм,  $h_{сб} = 100$  мм).

В отношении остальных параметров, включая этапность монтажа и загрузки, обе серии были идентичны между собой, а выполнялись и загружались в 2 этапа (рис. 1):

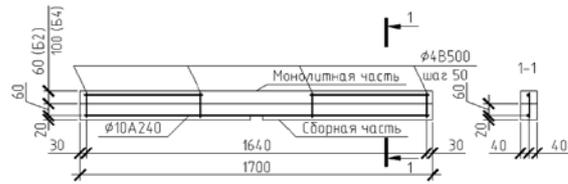
1-й этап — на заводе ЖБИ изготовлены сборные части опытных образцов из тяжелого бетона кл. В25 размерами  $1700 \times 80 \times 80$  ( $h$ ) мм, армированные продольной арматурой 1 Ø 10 А240, поперечной арматурой в опорной зоне Ø 4 В500 с шагом 50 мм. В последующем в лаборатории испытания строительных конструкций Сибирского федерального университета сборные образцы были загружены предварительной нагрузкой, которая в реальности моделировала монтажную нагрузку (собственный вес и вес дополнительных сборных элементов, к примеру плит, а также вес свежееуложенного монолитного бетона). В рамках проведенного эксперимента величина предварительной нагрузки составила  $2xP = 2,36$  кН, что привело к возникновению изгибающего момента в середине образцов  $M = 0,62$  кН·м.

2-й этап — сборные части, не снимая предварительную нагрузку, добетонировались монолитным легким бетоном (конструкционный керамзитобетон кл. В12,5). При этом высота монолитной части составила 60 мм в образцах серии Б2 и 100 мм в образцах серии Б4, таким образом, общие размеры сборно-монолитных опытных образцов составили  $1700 \times 80 \times 140$  ( $h$ ) мм и  $1700 \times 80 \times 180$  ( $h$ ) соответственно. После набора монолитным бетоном требуемой прочности проводилось последующее догружение образцов вплоть до разрушения.

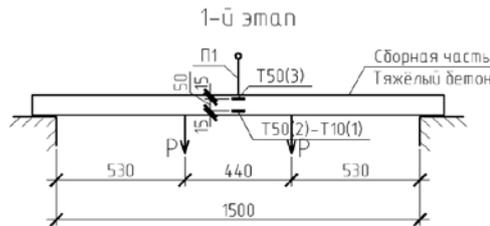
Загружение проводилось путем свободного подвешивания в двух точках на тросах грузов (железобетонные и металлические блоки). С целью фиксации деформаций бетона и арматуры использовались тензометрические датчики (Т10, Т50), работающие совместно с измерительной тензометрической системой, прогибы фиксировались прогибомером (П1), а ширину раскрытия трещин определяли микроскопом.

По результатам проведенного исследования отмечено, что:

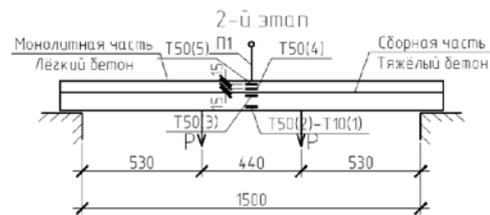
- взаимного смещения монолитной и сборной частей относительно друг друга не произошло;
- в процесс деформирования образцов всех серий отмечается равномерный рост прогибов, деформаций бетона и арматуры вплоть до исчерпания несущей способности экспериментальных образцов;
- образование трещин во всех образцах серий Б2 и Б4 происходило на 2-м и 3-м шагах 1-го этапа загрузки;
- исчерпание несущей способности балок происходило в результате достижения предела текучести в арматуре.



*a*



*б*



*в*



*г*



*д*

Рис. 1. Экспериментальные образцы Б2 и Б4: *a* — чертеж; *б, в* — схема и фото за-  
грузки на 1-м этапе; *г, д* — схема и фото загрузки на 2-м этапе

Анализ картины нарастания прогибов (рис. 2) показал следующее:

- Поэтапность монтажа и загрузки сборно-монолитного элемента приводит к разной интенсивности роста прогибов на каждом этапе загрузки. В частности, на 1-м этапе, когда включена в процесс деформирования только сборная часть, нарастание прогибов происходит более интенсивно, нежели на этапе 2, когда в процесс деформирования уже включился монолитный бетон.

- На 1-м этапе загрузки интенсивность нарастания прогибов в образцах Б2 и Б4 примерно одинаковая, что вполне логично, т. к. в данный момент конструктивно обе серии одинаковые. И, в частности, средние значения интенсивности роста прогиба на 1 кН увеличения нагрузки составили 1,85 мм/кН в образцах серии Б2 и 1,67 мм/кН в образцах серии Б4. В итоге средние прогибы по окончании 1-го этапа составили: Б2 — 4,37 мм, Б4 — 3,93 мм.

- После набора монолитным бетоном требуемой прочности и включения его в процесс деформирования интенсивность нарастания прогибов на 2-м этапе становится отличной. В обеих сериях интенсивность существенно снижается, однако в образцах серии Б4 отмечена большая величина снижения. Средняя интенсивность роста прогибов в образцах серии Б2 составила 0,96 мм/кН, а в образцах серии Б4 — 0,29 мм/кН. В итоге при нагрузке  $P = 5,1$  кН прогибы в образцах серии Б2 достигли 10,17 мм, а в образцах серии Б4 — 6,18 мм.

- Большая высота монолитной зоны совершенно естественным образом повышает изгибную жесткость, причем вне зависимости от этапности монтажа и загрузки.

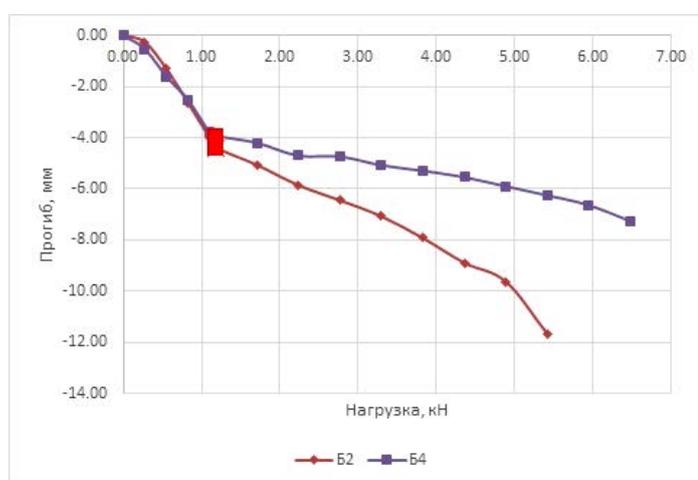


Рис. 2. Графики средних прогибов образцов серий Б2 и Б4

Во всех экспериментальных образцах образование трещин происходило в рамках 1-го этапа, т. е. когда в процессе деформирования участвует только сборная часть. Причем первые трещины фиксировались на 2-м ( $P = 0,55$  кН и  $M = 0,29$  кН · м) или 3-м ( $P = 0,83$  кН и  $M = 0,44$  кН · м) шагах загрузки в середине пролета балки в зоне максимального изгибающего момента (зона чистого изгиба). Глубина распространения трещины в момент ее образования составляла 30...40 мм, а ширина раскрытия не превышала 0,05 мм (рис. 3).

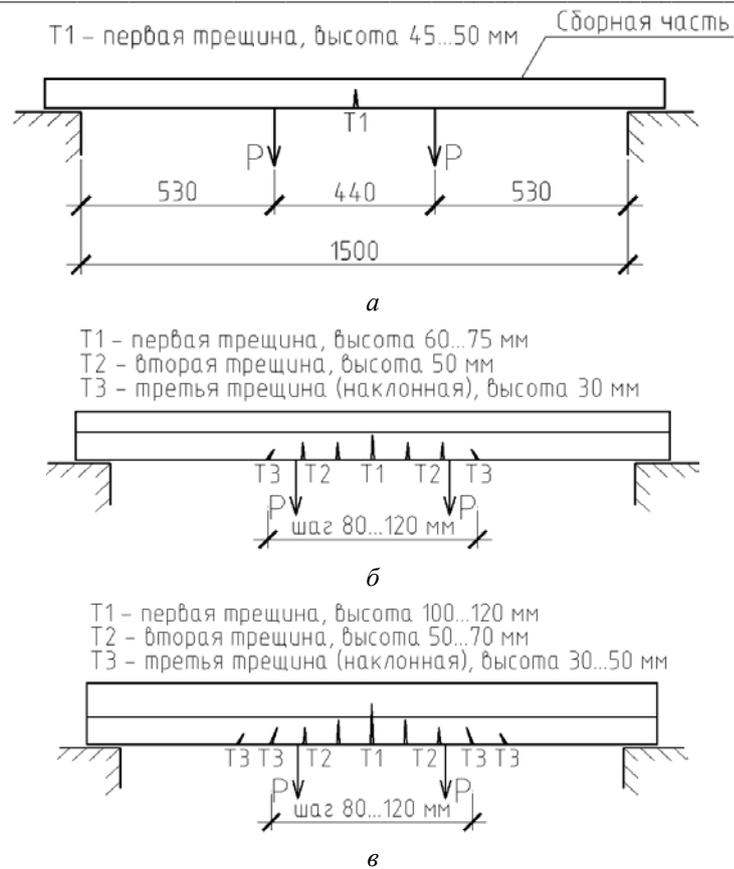


Рис. 3. Трещинообразование: а — схема образования трещин в балках серий Б2 и Б4 после окончания 1-го этапа нагружения; б, в — схемы образования трещин в балках серий Б2 и Б4 на шаге нагружения, предшествующему разрушению

К моменту окончания 1-го этапа нагружения отмечалась только одна трещина, высота ее развития составила 45...50 мм, а ширина раскрытия порядка 0,08...0,1 мм.

В рамках 2-го этапа нагружения в образцах серий Б2 и Б4:

- Происходило развитие ранее образовавшихся и появление новых трещин.
- Не фиксировались какие-либо горизонтальные трещины, в том числе и по шву сопряжения бетонов.
- Расстояние между трещинами составляло порядка 80...120 мм.
- В образцах серии Б2 ширина раскрытия критической трещины при нагрузке, предшествующей разрушению, составляла порядка 0,7...1,1 мм при высоте развития 60...75 мм. При этом трещины в монолитную часть не переходили.
- В образцах серии Б4 первоначально образованная трещина на 2-м этапе нагружения, пройдя полностью сборную часть, продолжила развитие в монолитной части, углубившись в нее до 50 мм. Ширина раскрытия трещины при нагрузке, предшествующей разрушению, в монолитной части составляла 1,0...1,2 мм, а в сборной части — 2,5...3,0 мм. График деформаций арматуры представлен на рис. 4.

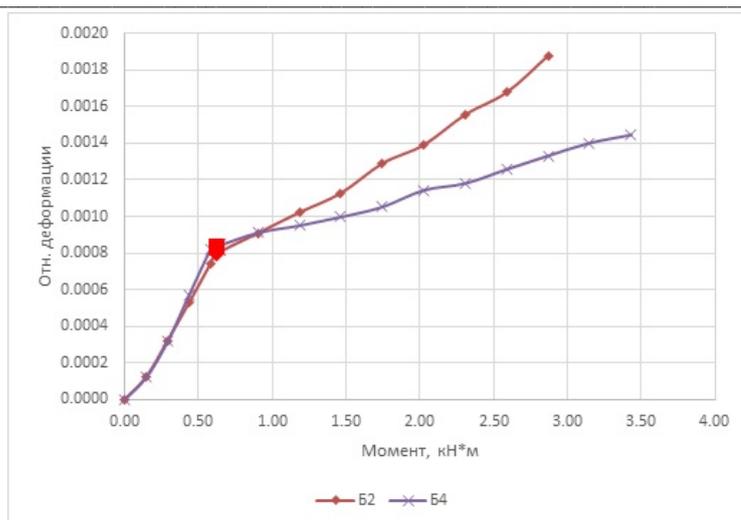


Рис. 4. График деформаций арматуры

Анализ процесса деформирования продольной арматуры по мере загрузки экспериментальных образцов привел к следующим выводам:

- Поэтапность приводит к резкому изменению (снижению) интенсивности роста деформаций продольной арматуры после набора монолитным бетоном требуемой прочности и включения его в процесс деформирования.

- На 1-м этапе загрузки интенсивность роста деформаций продольной арматуры (увеличение величины относительных деформаций на  $1 \text{ кН} \cdot \text{м}$  увеличения изгибающего момента) в образцах серий Б2 и Б4 примерно одинаковая и составила  $0,001284 \text{ (кН} \cdot \text{м)}^{-1}$  и  $0,001345 \text{ (кН} \cdot \text{м)}^{-1}$  соответственно. При этом по окончании 1-го этапа ( $M = 0,62 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ) загрузки финальные средние относительные деформации составили  $0,000796$  в образцах серии Б2 и  $0,000834$  в образцах серии Б4.

- После включения в процесс деформирования монолитного бетона интенсивность прироста деформаций арматуры естественным образом снижается, причем снижение в образцах серии Б4 более сильное ( $0,000217 \text{ (кН} \cdot \text{м)}^{-1}$ ), нежели в образцах серии Б2 ( $0,001433 \text{ (кН} \cdot \text{м)}^{-1}$ ), из-за большей высоты монолитного бетона. В итоге при значениях усилия  $M = 2,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$  средние деформации арматуры образцов серии Б2 составили  $0,001758$ , а в образцах серии Б4 —  $0,001287$ .

В отношении процесса деформирования бетонов отмечено следующее:

- Картина деформирования образцов серий Б2 и Б4 примерно одинаковая между собой.

- В рамках 1-го этапа загрузки сборной части происходит классическое деформирование изгибаемого элемента с возникновением деформации растяжений в нижней зоне и деформациями сжатия в верхней. При этом рост деформаций происходит равномерно.

- На 2-м или 3-м шагах 1-го этапа загрузки фиксируется достижение предельных растягивающих значений деформаций, что указывает на образование трещин. Аналогичные данные были получены при анализе картины трещинообразования.

- Деформации сжатия, возникшие в верхней части сборного бетона на 1-м этапе загрузки (значения деформаций находись в диапазоне от 0,000198 до 0,000699), во время 2-го этапа прекращают прирост, и практически во всех образцах серий Б2 и Б4 отмечается снижение возникших ранее деформаций сжатия и порой вплоть до возникновения деформаций растяжения.

- В нижней зоне монолитного бетона во всех образцах серии Б2 фиксировались незначительные деформации сжатия (не превысили величины 0,000182). В образцах серии Б4 отмечались деформации растяжения, достигающие значений, соизмеримых с предельными, что указывает на образование трещин в этой зоне (по факту трещины были зафиксированы на нижней части монолитного бетона).

- Деформации верхней зоны монолитного бетона во всех образцах серий Б2 и Б4 не достигли предельных значений. Максимальные сжимающие относительные деформации, зафиксированные в образцах серии Б2, находилась в диапазоне 0,000483...0,000644, а в образцах серии Б4 — в диапазоне 0,000535...0,000733 (следует помнить, что разрушение образцов серии Б4 происходило при большей нагрузке, нежели образцов серии Б2). При значении усилия  $M = 2,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$  средние деформации в образцах серии Б2 составили 0,000525, а в образцах серии Б4 — 0,000389 (рис. 5).

- Визуальный осмотр экспериментальных образцов показал отсутствие каких-либо признаков разрушения сборного и монолитного бетонов.

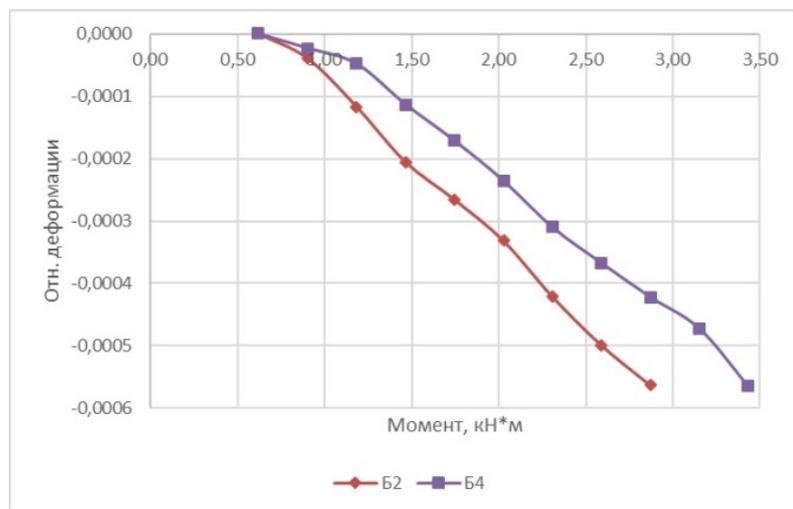


Рис. 5. График сопоставления средних относительных деформаций верхней части монолитного бетона образцов серий Б2 и Б4

Среднее значение изгибающего момента, при котором произошло исчерпание несущей способности в образцах серий Б2 и Б4, составило 3,00 кН · м и 3,99 кН · м соответственно.

Причиной разрушения балок всех серий являлось достижение предела текучести арматуры, о чем наглядно свидетельствовали следующие факторы:

- достижение предельных деформаций в арматуре, зафиксированное тензодатчиками;

- недостижение предельных деформаций в сжатом бетоне (сборном и монолитном), что было зафиксировано тензометрическими датчиками;
- интенсивное прирастание прогибов в момент приложения предельной разрушающей нагрузки;
- отсутствие визуальных признаков разрушения бетона (сборного и монолитного).

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Этапное включение в процесс восприятия нагрузки сборного и монолитного бетонов видоизменяет картину напряженно-деформирования сборно-монолитного изгибаемого элемента, что требует обязательного учета данного факта при проектировании.

2. Увеличение высоты монолитного бетона положительно сказывается на несущей способности и напряженно-деформированном состоянии сборно-монолитного элемента в целом. На это указывает:

- а) снижение прогибов — разница составила порядка 40 %;
- б) уменьшение величины относительных деформаций продольной арматуры — разница порядка 27 %;
- в) снижение относительных деформаций наиболее напряженной верхней зоны монолитного бетона — разница порядка 26 %;
- г) увеличение несущей способности — разница достигает порядка 33 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шембаков В. А. Сборно-монолитное каркасное домостроение. Руководство к принятию решения. Чебоксары : Чебоксарская типография № 1, 2005. 119 с.
2. Шаленный В. Т., Паперный Р. Б. Повышение технологичности проектных решений монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 2. С. 19—21.
3. Опыт практического применения и основные результаты натурных испытаний сборно-монолитного каркаса БелНИИС / А. И. Мордич, В. Н. Белевич, В. Н. Симбиркин, Д. И. Навой // Бюллетень строительной техники. 2004. № 8. С. 8—12.
4. Теплова Ж. С., Виноградова Н. А. Сборно-монолитные перекрытия системы «МАРКО» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 8. С. 48—59.
5. Коянкин А. А. Облегченное сборно-монолитное перекрытие // Вестник МГСУ. 2017. № 6(105). С. 636—641.
6. Семченков А. С. Испытание натурального фрагмента каркаса «РАДИУСС НПУ» с плитой сплошного сечения // Бетон и железобетон. 2009. № 1. С. 2—5.
7. Паращенко Н. А., Горшков А. С., Ватин Н. И. Частично-ребристые сборно-монолитные перекрытия с ячеистобетонными блоками // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 6. С. 50—55.
8. Поветкин М. С. Напряженно-деформированное состояние усиленных под нагрузкой железобетонных изгибаемых преднапряженных элементов : дис... канд. техн. наук. Курск, 2009. 187 с.
9. Никоноров Р. М. Совместная сопротивляемость, деформативность железобетонных элементов перекрытия сборно-монолитных каркасов с плоскими плитами и скрытыми ригелями : дис... канд. техн. наук. М., 2008. 219 с.
10. Коянкин А. А., Митасов В. М. Испытания сборно-монолитного перекрытия на строящемся жилом доме // Бетон и железобетон. 2016. № 3. С. 20—22.
11. Мордич А. И., Галкин С. Л. Результаты испытания сборно-монолитного перекрытия каркасного здания вертикальной нагрузкой // Строительная наука и техника. 2011. № 3. С. 33—42.
12. Медведев В. Н., Семенюк С. Д. Прочность и деформативность балочных изгибаемых элементов с внешним листовым армированием // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 3(63). С. 3—15.

13. Прочность и деформативность сборно-монолитных каркасов жилых зданий пониженной материалоемкости при запроектных воздействиях / Н. В. Клюева, В. И. Колчунов, Д. А. Рыпаков, А. С. Бухтиярова // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 5—9.

14. Assessing Punching Shear Failure in Reinforced Concrete Flat Slabs Subjected to Localized Impact Loading / K. Micallef, J. Sagaseta, M. Fernandez Ruiz, A. Muttoni // International Journal of Impact Engineering. 2014. № 71. Pp. 17—33.

15. Simplified reliability analysis of punching in reinforced concrete flat slab buildings under accidental actions / P. Olmati, J. Sagaseta, D. Cormie, AEK J. // Engineering Structures. 2017. № 130. Pp. 83—98.

16. Koyankin A. A., Mitasov V. M. Stress-strain state of precast and cast-in place building // Civil Engineering. 2017. № 6(74). Pp. 175—184.

© Коянкин А. А., Митасов В. М., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Коянкин А. А., Митасов В. М. Экспериментальные исследования влияния высоты монолитной зоны бетона на напряженно-деформированное состояние сборно-монолитного изгибаемого элемента // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 20—29.

Об авторах:

**Коянкин Александр Александрович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем, Сибирский федеральный университет; Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, [koyankinaa@mail.ru](mailto:koyankinaa@mail.ru)

**Митасов Валерий Михайлович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных конструкций, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); Российская Федерация, 630008, г. Новосибирск-8, ул. Ленинградская, 113, [mitassovv@mail.ru](mailto:mitassovv@mail.ru)

**Alexander A. Koyankin<sup>a</sup>, Valery M. Mitasov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Siberian Federal University*

<sup>b</sup> *Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE HEIGHT OF THE MONOLITHIC ZONE OF CONCRETE ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE PRECAST-MONOLITHIC BENDING ELEMENT

The paper presents the results of experimental studies aimed at studying the influence of the height of the monolithic zone on the stress-strain state and the bearing capacity of the precast-monolithic bending element. An important feature is that the process of installation and loading of the element was gradual, i.e. at first there was the installation of the combined part of the experimental samples and their loading with a load that modeled the installation load (own weight of prefabricated structures, monolithic concrete, etc.). Further, the monolithic concrete was laid, after the set of which the required strength was carried out, the experimental samples were loaded up to the exhaustion of their bearing capacity.

**К e y w o r d s:** precast-monolithic structures, bearing capacity, installation stages, loading stages.

*For citation:*

Koyankin A. A., Mitasov V. M. [Experimental studies of the influence of the height of the monolithic zone of concrete on the stress-strain state of the precast-monolithic bending element]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 20—29.

*About authors:*

**Alexander A. Koyankin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Building Structures and Managed Systems Department, Siberian Federal University (SFU); Russian Federation, 660041, Krasnoyarsk, Svobodny Ave., 79, koyankinaa@mail.ru

**Valery M. Mitsov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Reinforced Concrete Structures Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); Russian Federation, 630008, Novosibirsk-8, Leningradskaya str., 113, mitassovv@mail.ru

УДК 624.131.1

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

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ**

На примере территории г. Кишинева и междуречья Прут — Днестр в пределах Молдавии охарактеризованы основные проблемы, требующие детального изучения на стадии проектирования строительства. Ими являются: прогноз показателей просадочности и набухаемости глинистых грунтов с учетом фактора их длительного взаимодействия с водой и прогноз характера и интенсивности ожидаемого подтопления осваиваемой территории. Сделан вывод о том, что настало время пересмотра некоторых методов и методики изучения просадочных и набухающих грунтов и более широкого внедрения в практику количественных методов прогноза подтопления.

Ключевые слова: просадочные грунты, набухающие грунты, диффузионное выщелачивание, давление набухания, послепросадочное уплотнение, техногенное подтопление.

Дисперсными называются рыхлые грунты, имеющие в своем составе уже хотя бы 2...3 % дисперсных частиц. В соответствии с ГОСТ 25100—95 «Грунты. Классификация» они являются глинистыми, пылевато-глинистыми грунтами. Проблемы строительства на дисперсных грунтах чрезвычайно разнообразны и обусловлены в большей степени свойствами дисперсных частиц и глинистых минералов, входящих в состав грунта [1]. В настоящей статье мы ограничимся анализом инженерно-геологических проблем, сопровождающих освоение территорий, сложенных наиболее яркими представителями дисперсных грунтов: набухающими глинами и лессовыми просадочными грунтами. Все эти проблемы заключены в своеобразный четырехугольник, сторонами которого служат понятия: подтопление, набухание, просадочность, сейсмичность.

Спецификой геологической науки является то, что ее закономерности и законы изучаются на конкретных природных объектах (образцах, грунтах) на определенной территории. После этого делаются обобщающие выводы по региону, стране, континенту, земному шару. Мы в своем исследовании попытаемся проанализировать упомянутые проблемы на примере республики Молдова и территории г. Кишинева. Это обусловлено схожестью инженерно-геологических условий г. Кишинева с такими городами, как Киев, Запорожье, Днепропетровск, Ростов-на-Дону, Волгоград, Барнаул и др. Поэтому почти все характеризуемые проблемы актуальны для всей территории юга России и сопредельных государств [2]. Особенностью инженерно-геологических условий г. Кишинева является почти повсеместное распространение лессовых просадочных пород мощностью от 5,0 до 30,0 м, подстилаемых средне- и сильнонабухающими сарматскими глинами мощностью до 50 м. Фоновая сейсмичность территории — 7 баллов.

*Подтопление* — это инженерно-геологическое явление, возникающее в результате процесса инженерного освоения территории: застройки городов,

возведения крупных промышленных объектов, гидротехнического и гидромелиоративного строительства. Суть его заключается в том, что уровень подземных вод на конкретной территории, длительное время находящийся без изменения (не считая его сезонных колебаний), начинает повышаться и может достигнуть фундаментов сооружений, вызвав при этом массу проблем как для эксплуатационников, так и для строителей. Причиной подъема уровня является нарушение баланса подземных вод. До застройки территории приходная статья водного баланса (инфильтрационное питание) уравновешивалась расходной статьей — разгрузкой подземных вод в долины, овраги, балки. С началом инженерного освоения территории резко увеличивается питание подземных вод, проявляются так называемые активные факторы подтопления: неправильная планировка поверхности; засыпка оврагов, долин, ручьев, рек; асфальтирование территории; полив зеленых насаждений; длительное раскрытие котлованов; утечки из водопроводно-канализационной сети и др. Последний фактор является, несомненно, преобладающим. По данным УкрГИИИИТИЗа, из водопровода г. Одессы вытекает в грунт около 50 % всей подаваемой потребителям воды.

При взаимодействии активных и пассивных факторов (предрасположенности природных условий и благоприятном геологическом строении) начинается подъем уровня подземных вод. Одним из таких благоприятных природных факторов является наличие лессовых грунтов и водоупорных глин. Очень интенсивно подтопление развивается на лессовых грунтах, особенно если они подстилаются водоупором, как это имеет место на значительной части территории г. Кишинева. Причина заключается в анизотропии фильтрационных свойств лессовых грунтов (коэффициент фильтрации в вертикальном направлении в 3—5 раз больше, чем в горизонтальном).

Характерным является развитие подтопления в новых микрорайонах города, застройка которых началось в 60—70-х гг. прошлого столетия, а уже через 10—15 лет отмечены случаи подтопления отдельных площадок (рис. 1). Анализ развития подтопления позволил сделать следующие выводы. Скорость подъема уровня воды составляет 0...1,5 м/год. Чем глубже уровень воды, тем больше скорость подъема. С приближением уровня к поверхности за счет транспирации и дренированности территории скорость подъема уменьшается. Чем ближе площадка расположена к области дренирования, тем скорость подтопления меньше. Глубина подтопленного уровня в различных частях микрорайонов установилась различной: от 1,0...2,0 м — на водораздельных участках, до 8...10 м — вблизи естественных дренажей (балок, оврагов и др.) [3].

После застройки микрорайонов г. Кишинева оказалось, что многие здания и сооружения, возведенные на просадочных и набухающих грунтах, вследствие замачивания грунтов при подтоплении или аварийных утечках претерпели значительные неравномерные осадки. В некоторых случаях деформации сооружений существенно превысили допустимые, возникли аварийные ситуации. Сотрудниками специализированной лаборатории АН Молдавии были выполнены исследования для определения причины деформации сооружений.

Известно, что при проектировании оснований и фундаментов на *набухающих* грунтах используется, помимо всех прочих, два показателя: величина относительного набухания и давление набухания.

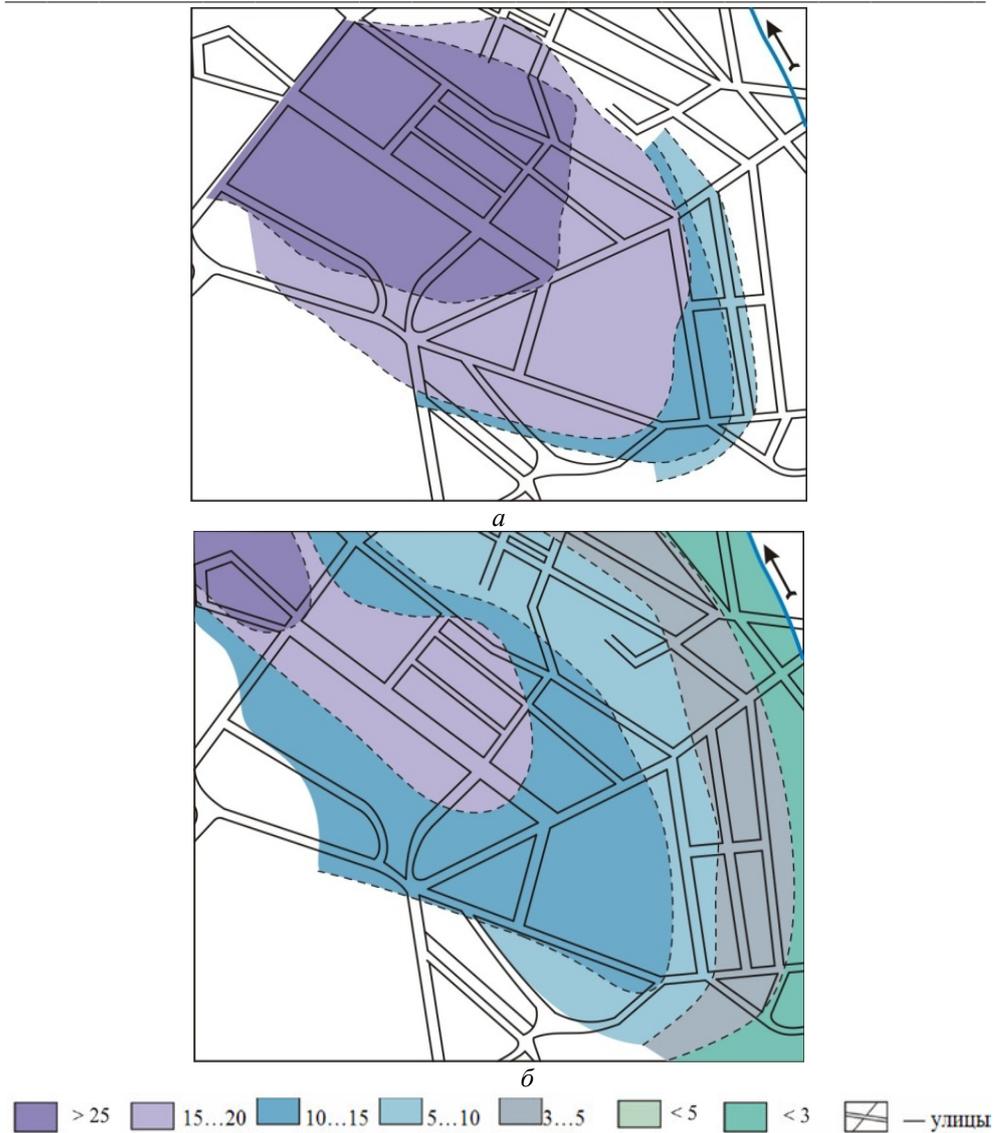


Рис. 1. Схематические карты глубин залегания (в м) уровней подземных вод на различный период, микрорайон Боюканы, г. Кишинев: *a* — до застройки; *б* — после застройки

В соответствии с действующим ГОСТ 24143—80 лабораторные определения этих величин выполняются в течение 2—4 суток. Физико-химические процессы, протекающие при этом в грунтах, в корне отличаются от процессов, происходящих в аналогичных грунтах в природных условиях (в частности, не учитывается явление выщелачивания, растворения, ионного обмена и фактор времени) [4—6].

В связи с этим была разработана методика и сконструированы приборы, позволяющие моделировать в лабораторных условиях природные процессы взаимодействия глин с водой. Использование данных приборов показало, что применение ГОСТовской методики занижает величину относительного набу-

хания — в 1,1—1,15 раз (рис. 2), а величину давления набухания — до 3 раз (рис. 3). При проектировании оснований на набухающих грунтах не представилось возможным выявить фактическую величину их набухания, что не позволило назначить достаточный объем мероприятий по борьбе с набуханием, это и явилось причиной деформации сооружений [7].

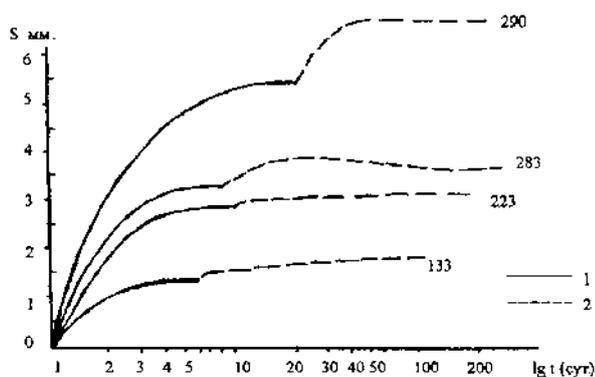


Рис. 2. Графики зависимости набухания ( $S$ ) образцов сарматских глин от времени ( $\lg t$ ): 1 — замачивание; 2 — диффузионное выщелачивание. Цифрами показаны лабораторные номера образцов грунта

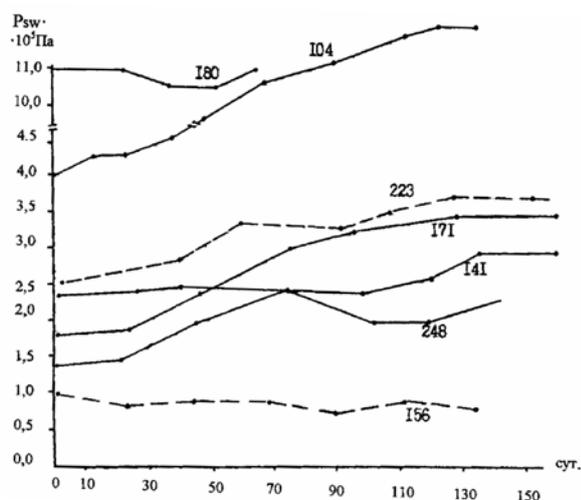


Рис. 3. Изменение давления набухания сарматских глин ( $P_{sw}$ ) при выщелачивании в условиях неизменяющегося объема образца. Начальное давление набухания определено по ГОСТовской методике. Цифрами показаны лабораторные номера образцов грунта

При строительстве на лессовых *просадочных* грунтах важное значение имеют: величина относительной просадочности при различных нагрузках и начальное просадочное давление. Методика испытаний на просадочность регламентирована ГОСТ 23161—78. Суть ее в том, что лессовый грунт в одометре испытывается при капиллярной влажности. Продолжительность таких исследований составляет 3—5 суток. Однако в природных условиях вода в лессовом грунте основания сооружения находится в непрерывном

движении, что коренным образом меняет характер физико-химических процессов, протекающих в грунте как по времени, так и по их интенсивности.

Если принять, что просадочный процесс включает 3 составляющие: провальную, замедленную части и послепросадочное уплотнение, то можно считать, что в лабораторных условиях по ГОСТовской методике моделируется только провальная часть просадки. В таблице приведены значения коэффициентов послепросадочного уплотнения лессовых грунтов из различных регионов [8].

На рисунке 4 показаны кривые консолидации образцов лессовых пород из некоторых регионов Молдовы в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды [2].

Таким образом, было установлено, что основной причиной деформации сооружений на просадочных грунтах республики также следует считать неучет реальных условий работы лессового основания: длительного обводнения, физико-химических процессов, преобразующих качественный и количественный состав грунта, и как следствие — увеличение величины относительной просадочности и послепросадочного уплотнения. Это не позволило запроектировать достаточно полный комплекс мероприятий по борьбе с просадочностью лессовых оснований [9].

Поправочные коэффициенты  $K = \varepsilon_{sl}^{\phi} / \varepsilon_{sl}$  для различных регионов

Район	Автор	$K = \varepsilon_{sl}^{\phi} / \varepsilon_{sl}$	
		Категория просадочности	
		слабопросадочные	среднепросадочные
Предкавказье	В. П. Ананьев, Э. В. Запорожченко	2,3	1,9
Средняя Азия	Е. Н. Сквалецкий	1,7	1,7
Молдова	Ю. И. Олянский	2,55	1,9
Междуречье Дунай — Днестр	И. И. Молодых	1,2...1,4	
Среднее Приднепровье	И. П. Иванов	1,1...1,3	

Примечание:  $\varepsilon_{sl}^{\phi}$  — величина относительной просадочности, определенная при фильтрации воды через образец лессового грунта;  $\varepsilon_{sl}$  — то же, определенная при капиллярном водонасыщении в соответствии с ГОСТ 23161—78

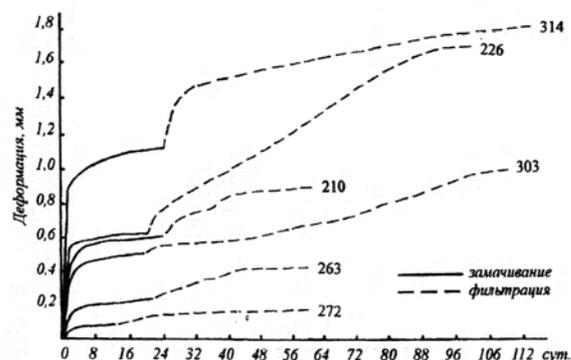


Рис. 4. Деформация образцов лессовых грунтов в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды. Цифрами показаны лабораторные номера образцов грунта

Проблема *сейсмичности* весьма актуальна при строительстве на просадочных и набухающих грунтах. Специфическим свойством дисперсных грунтов является их способность при повышении влажности уменьшать скорость прохождения поперечных сейсмических волн [10], что, в свою очередь, неблагоприятно сказывается на устойчивости зданий и сооружений.

В соответствии со СНиП II-7—81 «Строительство в сейсмических районах» категория грунтов по сейсмическим свойствам определяется для верхней 10-метровой толщи геологического разреза с учетом возможного изменения влажности, т. е. подтопления. При определении категории грунтов по сейсмическим свойствам геолог-изыскатель должен предусмотреть характер подтопления площадки и время, когда уровень подземных вод достигнет поверхности или установится на определенной глубине. Универсальная методика такого прогноза на сегодня — количественное прогнозирование подтопления, что по понятным причинам не может широко использоваться при строительстве.

Рекомендуемый же СНиП 2.02.01—83 метод качественного прогноза не позволяет ответить на вышеуказанные вопросы. Поэтому на практике принимается худший вариант — считается, что за время строительства и эксплуатации сооружения уровень подземных вод достигнет поверхности земли. Такой допуск дает, как правило, III категорию грунтов по сейсмическим свойствам и влечет за собой повышение расчетной сейсмичности на 1 балл, что для условий г. Кишинев составляет 8 баллов. Однако, как видно из предыдущего анализа развития подтопления на территории города, уровень подземных вод не всегда достигает глубины 1,0...2,0 м, а может установиться и на более глубоких отметках. В результате в некоторых случаях происходит неоправданное завышение расчетной сейсмичности строительных площадок и значительное удорожание строительства.

### **Выводы**

Современный этап инженерно-геологического изучения лессовых просадочных и глинистых набухающих грунтов для целей строительства характеризуется повышением требований проектирования к прогнозу изменения свойств дисперсных грунтов оснований сооружений в условиях их неизбежного обводнения. Широко применявшиеся в прошлом столетии методы прогноза в настоящее время уже не могут обеспечить получение надежных характеристик свойств грунтов и тем самым обеспечить безаварийную эксплуатацию зданий и сооружений. Очевидно, что наступило время пересмотра некоторых используемых методик изучения просадочных и набухающих грунтов, а также более широкого внедрения в практику строительства количественных методов прогнозирования подтопления.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Осипов В. И., Соколов В. Н.* Глины и их свойства. М. : Геос, 2013. 575 с.
2. *Олянский Ю. И.* Лессовые грунты юго-западного Причерноморья. Кишинев : Штиинца, 1992. 130 с.
3. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Т. М. Тихонова и др. Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. 204 с.
4. *Пахомов С. И., Монюшко А. М.* Инженерно-геологические аспекты техногенного изменения свойств глин. М. : Наука, 1988. 120 с.

5. Горькова И. М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М. : Стройиздат, 1975. 151 с.

6. Затенацкая Н. П. Закономерности формирования свойств засоленных глин. М. : 1985. 145 с.

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

8. Олянский Ю. И. Закономерности развития процессов набухания и просадки неоген-четвертичных глинистых пород юго-запада Русской платформы : втореф. диссер. д-ра геол.-минер. наук. Санкт-Петербург, 2004. 47 с.

9. Олянский Ю. И., Гончаров В. С. Анализ причин деформаций зданий и сооружений, связанных с обводнением просадочных грунтов на территории Молдавии // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении. Т. II. М. : Стройиздат, 1987. С. 164—165.

10. Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В. Влияние физико-механических характеристик на сейсмоакустические свойства сарматских глин // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр.-во и архитектура. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. Вып. 9(28). С. 7—11.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А. Инженерно-геологические проблемы освоения территорий распространения дисперсных грунтов в сейсмоактивных регионах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 30—37.

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](mailto: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](mailto: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)

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

**Volgograd State Technical University**

## **ENGINEERING-GEOLOGICAL PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF TERRITORIES OF DISTRIBUTION OF DISPERSED SOILS IN SEISMICALLY ACTIVE REGIONS**

On the example of the territory of Chisinau and the river Prut-Dniester within Moldova, the main problems requiring detailed study at the design stage of construction are characterized. They are: the forecast of indicators of subsidence and swelling of clay soils taking into account the factor of their long-term interaction with water and the forecast of the nature and intensity of the expected flooding of the developed territory. It is concluded that the time has come to revise some methods and techniques for studying subsidence and swelling soils and to introduce quantitative methods of forecasting flooding into practice more widely.

**Key words:** subsidence soils, swelling soils, diffusion leaching, swelling pressure, post-subsidence compaction, technogenic flooding.

*For citation:*

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A. [Engineering-geological problems of development of territories of distribution of dispersed soils in seismically active regions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 30—37.

*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](mailto: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)

УДК 624.014

**В. А. Пшеничкина, К. Н. Сухина, К. А. Сухин, М. Е. Дубовский**

*Волгоградский государственный технический университет*

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ НЕСООТВЕТСТВИЯ  
РЕАЛИЗОВАННОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ**

Произведена оценка влияния дефектов и повреждений подкрановой балки на ее напряженно-деформированное состояние. Полученные результаты применены для определения несущей способности эксплуатируемой стальной подкрановой балки.

**Ключевые слова:** подкрановая балка, коррозионный износ, напряженно-деформированное состояние, несущая способность.

Значительный рост индустриального уровня и объема изготовления металлических конструкций в нашей стране пришелся на период 1970—1980 гг., и именно в это время было построено большинство промышленных предприятий. Но в связи с тем, что с момента постройки многих из них прошло уже не одно десятилетие, требуется реконструкция или полная замена части конструкций. В настоящее время в стране остро встал вопрос о сохранении существующего фонда производственных зданий и сооружений, ведь увеличение сроков эксплуатации и снижение частоты ремонтов эквивалентны экономическому эффекту, который мог бы быть получен от возведения новых объектов [1—4].

Большая часть существующих несущих конструкций промышленных зданий и сооружений находится в эксплуатации более тридцати лет. Темпы износа прогрессируют, увеличивая число повреждений и аварий. При решении вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации таких конструкций возникает необходимость в изучении их действительного напряженно-деформированного состояния с учетом приобретенных за время эксплуатации повреждений, изменения нормативно-технических требований и климатических воздействий<sup>1</sup> [5—10].

Одними из наиболее уязвимых конструкций, подверженных повреждениям, являются подкрановые конструкции. Они представляют собой часть многоэлементной системы каркаса производственного здания и обладают наименьшей долговечностью при значительных расходах на эксплуатацию. Балки являются наиболее нагруженными элементами и зачастую используются в различных по агрессивности коррозионных средах, что только увеличивает их повреждаемость и, как следствие, ухудшает работоспособность. Несвоевременное выявление и устранение повреждений, появившихся во время эксплуатации, приводит к потере конструкцией ее несущей способно-

---

<sup>1</sup> Руководство по проектированию подкрановых конструкций. М. : ЦНИИ проектстальконструкция, 1976.

КЭ-01-57. Выпуск VII. Стальные разрезные и неразрезные подкрановые балки пролетами 6 и 12 м под краны общего назначения грузоподъемностью 5—75 т (для зданий пролетом 36 м). Чертежи КМ // ЦНИИ проектстальконструкция. М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1967.

сти. В связи с этим фактом работоспособность подкрановых балок должна быть рассмотрена в первую очередь [8, 9, 11—15].

Дефекты и повреждения кранового пути, подкрановых балок и мостовых кранов, установленных на пути, влияют на несущую способность подкрановых балок и потому требуют более тщательного статического исследования.

Для этого были получены данные о дефектах и повреждениях подкрановых систем по результатам проведенного ряда обследований крановых путей и несущих подкрановых конструкций на предприятии в г. Волгограде.

Обследуемое здание представляет собой промышленное одноэтажное каркасное здание, что рационально при значительных статических и динамических нагрузках, характерных для промышленных зданий, и значительных размерах перекрываемых пролетов. Оно имеет три параллельных пролета и один перпендикулярный им. Во всех четырех пролетах предусмотрено устройство мостовых кранов. На рисунке 1 представлена конструктивная схема рассматриваемого сооружения.

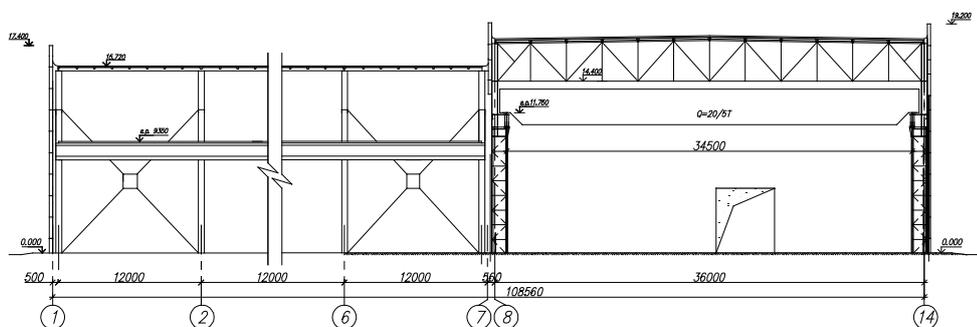


Рис. 1. Конструктивная схема здания

Согласно проектному решению подкрановые конструкции реализованы разрезными балками двутаврового сечения пролетом 12 м, выполненными из низколегированной стали. Общий вид исследуемой конструкции представлен на рис. 2.

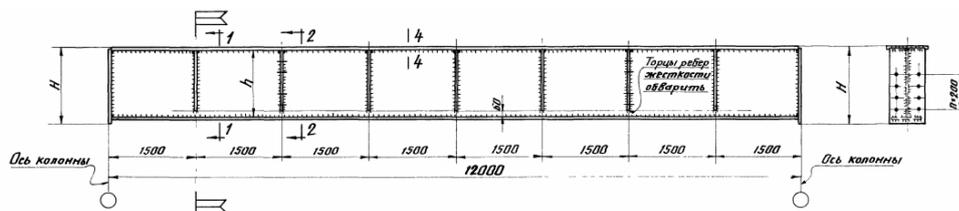


Рис. 2. Общий вид исследуемой конструкции

По конструктивным требованиям крепление подкрановой балки к колоннам должно осуществляться с помощью тормозной конструкции. Тормозная балка (швеллер) при помощи металлического листа крепится к верхнему поясу балки (рис. 3).

На основании проведенного обследования были выявлены критерии, снижающие эксплуатационную пригодность и долговечность подкрановых балок: несоответствие действительного опирания и крепления балок и тормозных устройств к колоннам конструктивному решению, а также коррозия нижнего пояса подкрановой балки.

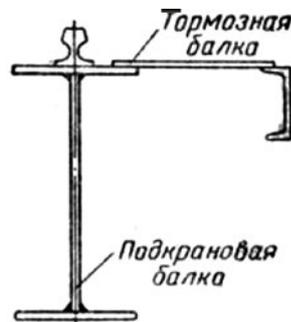


Рис. 3. Узел сопряжения подкрановой конструкции

Для получения количественной оценки несущей способности рассматриваемой конструкции был проведен анализ напряженно-деформированного состояния с учетом выявленных критериев [16—18].

Первым этапом были промоделированы проектные и фактически реализованные узлы сопряжения подкрановых балок с колоннами и дана оценка влияния на несущую способность в условиях статической загрузки при разных вариантах закрепления.

Первый вариант конструктивной схемы представляет собой крепление с помощью тормозной конструкции. Тормозная балка (швеллер 18П) при помощи металлического листа (лист толщиной 6 мм) крепится к верхнему поясу балки.

Второй вариант представлен в виде подкрановой балки с креплением верхнего пояса к колонне посредством упорных планок. В программном комплексе данное решение было реализовано с помощью пластин с жесткими закреплениями на концах.

В третьем варианте представлена подкрановая балка с отсутствием каких-либо тормозных конструкций и креплений к колонне верхнего пояса балки.

Значения напряжений для каждого элемента подкрановой балки всех рассмотренных вариантах представлены в табл. 1.

Вторым этапом была произведена оценка НДС с учетом коррозионного износа конструкции.

Исходя из результатов проведенных обследований и на основании метода статической линеаризации была определена интенсивность коррозионного износа во времени. Она составила: при отсутствии коррозии — на начальном этапе эксплуатации конструкции; 2 мм — после 12 лет эксплуатации; 4 мм — после 22 лет эксплуатации; 6 мм — после 32 лет эксплуатации.

Результаты расчета проиллюстрированы на рис. 4—8.

Значения напряжений в подкрановых балках при различной величине коррозии представлены в табл. 3.

Таблица 1

Значения напряжений в подкрановых балках с учетом первого критерия

Элемент балки	№ схемы закрепления	Без коррозии ( $\times 10^3$ )							
		$N_y, \text{кН/м}^2$				$N_y, \text{кН/м}^2$			
		РСН 1	РСН 2	РСН 3	РСН 4	РСН 1	РСН 2	РСН 3	РСН 4
Стенка	1	-111,00	-74,20	-107,00	-71,60	-90,60	-90,60	-90,60	-90,60
	2	-115,00	-76,30	-112,00	-74,50	-90,70	-90,60	-90,70	-90,60
	3	-121,00	-80,10	-121,00	-80,10	-90,70	-90,60	-90,70	-90,60
Верхний пояс	1	12,20	-8,54	12,10	-7,65	-136,00	-84,50	-128,00	-79,20
	2	-31,00	-28,30	-31,10	-27,30	-163,00	-99,60	-127,00	-78,10
	3	-2,34	-7,37	-2,34	-6,73	-167,00	-103,00	-122,00	-77,50
Нижний пояс	1	-3,55	-2,42	-3,48	-2,36	111,00	67,90	110,00	67,50
	2	-7,41	-4,51	-5,97	-3,90	114,00	68,80	111,00	67,40
	3	-3,82	-2,83	-3,45	-2,81	116,00	70,10	113,00	68,30
Ребра жесткости	1	11,50	7,09	10,90	6,77	-11,23	-6,50	-12,40	-6,53
	2	12,50	7,59	11,30	6,90	-11,80	-7,12	-11,90	-7,34
	3	13,10	8,01	11,80	7,23	-11,90	-6,15	-11,90	-6,10
Опорные ребра	1	-19,20	-25,40	-19,20	-25,40	-107,00	-137,00	-107,00	-137,00
	2	-17,00	-20,40	-13,60	-19,60	-89,00	-110,00	-77,20	-106,00
	3	-20,60	-27,50	-18,80	-25,00	-114,00	-147,00	-106,00	-135,00

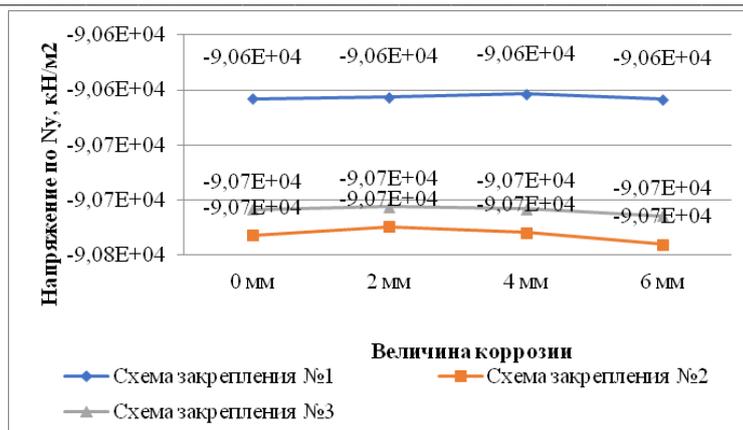


Рис. 4. График значений напряжений по  $N_y$  в стенке балки в зависимости от схемы закрепления и величины коррозии

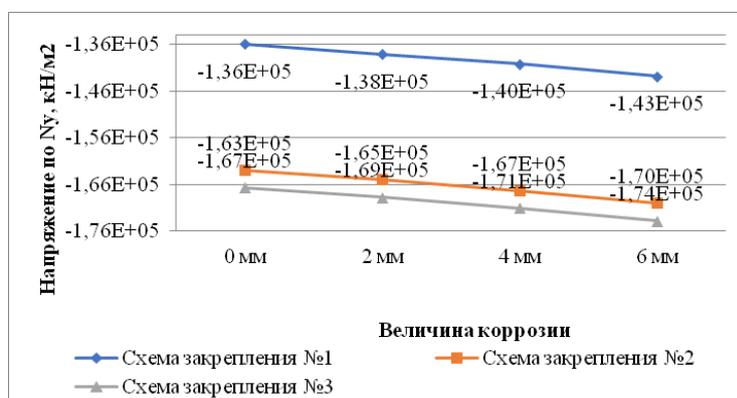


Рис. 5. График значений напряжений по  $N_y$  в верхнем поясе балки в зависимости от схемы закрепления и величины коррозии

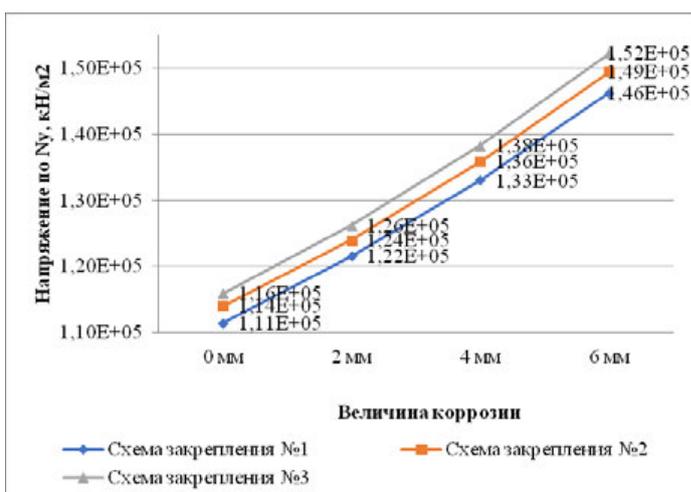


Рис. 6. График значений напряжений по  $N_y$  в нижнем поясе балки в зависимости от схемы закрепления и величины коррозии

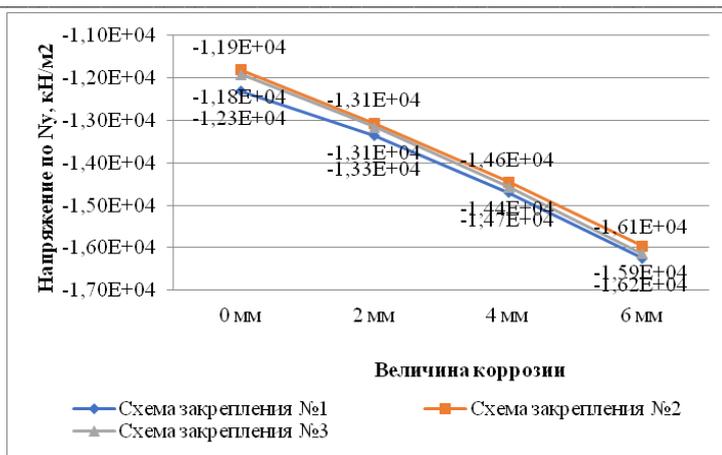


Рис. 7. График значений напряжений по  $N_y$  в ребрах жесткости балки в зависимости от схемы закрепления и величины коррозии

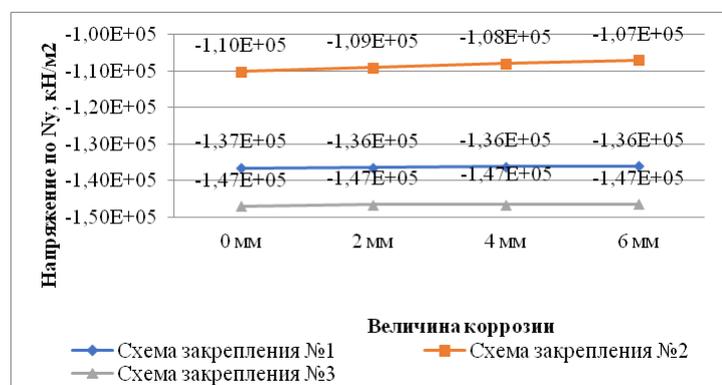


Рис. 8. График значений напряжений по  $N_y$  в опорных ребрах балки в зависимости от схемы закрепления и величины коррозии

Анализ напряженно-деформированного состояния позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее существенное влияние нарастания коррозионных повреждений на напряженно-деформированное состояние подкрановой конструкции и, как следствие, на снижение ее несущей способности оказывается на отдельные элементы подкрановых балок: стенку, верхний пояс и ребра жесткости.

2. При этом, как видно из вышепредставленных расчетов, наименее уязвимыми при данном виде повреждений являются опорные ребра и нижний пояс подкрановых балок. Однако следует отметить, что отсутствие ремонтно-восстановительных мер, связанных с восстановлением геометрических характеристик сечения данных элементов, может привести к резкому увеличению напряжений и к потере устойчивости всей подкрановой конструкции.

Поэлементная оценка разной степени коррозионного износа позволяет дать количественную оценку изменения несущей способности как отдельных элементов, так и всей конструкции в целом. А зная временные параметры рассматриваемого повреждения, можно с достоверной точностью определить остаточный ресурс и межремонтные сроки исследуемой конструкции.

Значения напряжений в подкрановых балках с учетом второго критерия (коррозионный износ)

Элемент балки	№ схемы закрепления	Величина коррозии нижнего пояса балки ( $\times 10^3$ )							
		0 мм		2 мм		4 мм		6 мм	
		$N_x$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_y$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_x$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_y$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_x$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_y$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_x$ , кН/м <sup>2</sup>	$N_y$ , кН/м <sup>2</sup>
Стенка (РСН1)	1	-111,00	-90,60	-116,00	-90,60	127,00	-90,60	139,00	-90,60
	2	-115,00	-90,70	-117,00	-90,70	125,00	-90,70	138,00	-90,70
	3	-121,00	-90,70	-122,00	-90,70	128,00	-90,70	141,00	-90,70
Верхний пояс (РСН1)	1	12,20	-136,00	12,40	-138,00	12,60	-140,00	12,90	-143,00
	2	-31,00	-163,00	-32,00	-165,00	-33,20	-167,00	-34,40	-170,00
	3	-2,34	-167,00	-2,37	-169,00	-2,40	-171,00	-2,41	-174,00
Нижний пояс (РСН1)	1	-3,55	111,00	-4,90	122,00	-6,94	133,00	-10,20	146,00
	2	-7,41	114,00	-8,39	124,00	-10,10	136,00	-13,40	149,00
	3	-3,82	116,00	-5,06	126,00	-7,11	138,00	-10,40	152,00
Ребра жесткости (РСН1)	1	11,50	-12,30	11,60	-13,30	11,80	-14,70	12,00	-16,20
	2	12,50	-11,80	12,70	-13,10	12,90	-14,40	13,10	-15,90
	3	13,10	-11,90	13,30	-13,10	13,50	-14,60	13,80	-16,10
Опорные ребра (РСН2)	1	-25,40	-137,00	-25,00	-136,00	-24,50	-136,00	-24,00	-136,00
	2	-20,40	-110,00	-19,90	-109,00	-19,30	-108,00	-19,00	-107,00
	3	-27,50	-147,00	-27,00	-147,00	-26,60	-147,00	-26,00	-147,00

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кикин А. И., Васильев А. А., Кошутин Б. Н. Повышение долговечности конструкций промышленных зданий. М. : Стройиздат, 1969. 415 с.
2. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М. : Стройиздат, 1978. 240 с.
3. Misra K. B. On optimal reliability design: A review // *SistemScience*. 1986. Pp. 5—30.
4. Нежданов К. К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчета : дисс... д-ра техн. наук. Пенза, 1992.
5. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений : Справочник проектировщика / Под общ. ред. В. В. Кузнецова М. : ABC, 1998. 506 с.
6. Ditlevsen O. Reliability against defect generated fracture // *Structural Mechanics*. 1981. Pp. 115—137.
7. Сахновский М. М. Обеспечение надежности стальных конструкций при эксплуатации промышленных зданий // Исследование надежности металлических конструкций : сб. науч. тр. М., 1979. С. 113—117.
8. Demo D. A., Fisher I. W. Analysis of fatigue of welded crane runway girders : Proc. I.A.S.S.C.E. // *Structural division*. 1976. Vol. 102. Pp. 919—933.
9. Granstern A. The fatigue behavior of crane girders. Int. inst. Weld. Stockholm. Pp. 12.
10. Васильев А. А. Особенности работы подкрановых конструкций и повышение срока их службы // *Промышленное строительство*. 1965. № 7. С. 33—36.
11. Веселов В. В. Несущая способность эксплуатируемых стальных подкрановых балок по результатам натурных обследований // *Железнодорожный транспорт: проблемы и решения : межвуз. сб. науч. трудов*. СПб., 2003. Вып. 6. С. 35—37.
12. Стрелецкий Н. С. Работа стали в строительных конструкциях. М. : Госстройиздат, 1956.
13. Burke J. J., Weiss V. Risk and failure analysis for improved performance and reliability. New York, London. 1980. Pp. 355.
14. Bolotin V. V. Life prediction of randomly loaded structures // *Nuclear Engineering and Design*. 1982. Pp. 399—402.
15. Абаринов А. А. Технологические свойства сталей // *Металлические конструкции : сб. науч. тр.* Челябинск, 1973. С. 5—15.
16. Абаринов А. А. Влияние технологического процесса изготовления на геометрические несовершенства сварных балок // *Исследование надежности металлических конструкций : сб. науч. тр.* М., 1979. С. 94—97.
17. Raizer V. D. Theory of Reliability in Structural Design // *Applied Mechanics Reviews*. USA, 2004. Vol. 57. Pp. 1—21.
18. Raizer V. D. Reliability of Structures. Analysis and Applications, Backbone Publishing Company. New York, USA, 2009. 146 p.

© Пшеничкина В. А., Сухина К. Н., Сухин К. А., Дубовский М. Е., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Анализ напряженно-деформированного состояния металлических подкрановых балок с учетом несоответствия реализованной конструктивной схемы / В. А. Пшеничкина, К. Н. Сухина, К. А. Сухин, М. Е. Дубовский // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 38—46.

Об авторах:

**Пшеничкина Валерия Александровна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [gap\\_hm@list.ru](mailto:gap_hm@list.ru)

**Сухина Ксения Николаевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Сухин Кирилл Александрович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Дубовский Максим Евгеньевич** — аспирант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Valeriya A. Pshenichkina, Kseniya N. Sukhina, Kirill A. Sukhin, Maksim E. Dubovskii**

**Volgograd State Technical University**

## **ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE METAL CRANE GIRDERS WITH THE MISMATCH CIRCUITS REALIZED CONSTRUCTIVE**

An assessment of the impact of defects and damage to the crane beams its stress-strain state. The obtained results are used for determining the bearing capacity of operated steel crane beams.

**Key words:** Crane runway beam, corrosive wear, stress-strain state, load-bearing capacity.

*For citation:*

Pshenichkina V. A., Sukhina K. N., Sukhin K. A., Dubovskii M. E. [Analysis of the stress-strain state of the metal crane girders with the mismatch circuits realized constructive]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 38—46.

*About authors:*

**Valeriya A. Pshenichkina** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [rap\\_hm@list.ru](mailto:rap_hm@list.ru)

**Kseniya N. Sukhina** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Kirill A. Sukhin** — 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

**Maksim E. Dubovskii** — Postgraduate student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 692.5

**Т. Ф. Чередниченко, В. Д. Тухарели, Р. Т. Габбасов**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ УСТРОЙСТВА НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С УПРОЧНЕННЫМ ВЕРХНИМ СЛОЕМ**

В статье рассмотрены наиболее прогрессивные на данный момент на строительном рынке типы финишных слоев покрытий с упрочненным верхним слоем. Проведена оценка финишного слоя покрытий с упрочненным верхним слоем по наиболее характерному параметру качества — истираемости. Определены преимущества и недостатки рассмотренных вариантов покрытий.

**Ключевые слова:** полы, модульные покрытия, финишный слой покрытия, упрочненный верхний слой, сравнение покрытий.

Современные напольные покрытия должны отвечать конструктивным, эксплуатационным, санитарно-гигиеническим, декоративным и другим требованиям. Зависимость требований полностью обуславливается назначением помещения здания и сооружения. Внедрение новых типов покрытий, их назначение, конструкционная состоятельность, устойчивость к тому или другому типу воздействия позволяют выбирать именно те, которые действительно будут соответствовать практическим и экономическим пожеланиям заказчика. Все вышеперечисленное невозможно без постоянного совершенствования строительных материалов и конструктивного решения напольных покрытий полов сооружений различного назначения [1—3].

Новой тенденцией устройства напольных покрытий общественных и промышленных зданий является технология устройства полов с упрочненным верхним слоем [4, 5]. Современные напольные модульные системы — это высокотехнологичные полы с целым спектром положительных характеристик. Модульный пол — это инновационное финишное покрытие, устраиваемое по любым типам оснований. Как правило, основанием полов выступает бетон. Это прочный материал, характеризующийся высокой устойчивостью на сжатие. Но искусственный камень пылит, подвержен негативному действию щелочей, кислот, влаги. В качестве финишного покрытия может выступать модульная плитка, что является самой рациональной альтернативой наливным полам (рис. 1). Готовый пол успешно проявил себя в тяжелых условиях эксплуатации, выдерживая высокие химико-механические нагрузки.

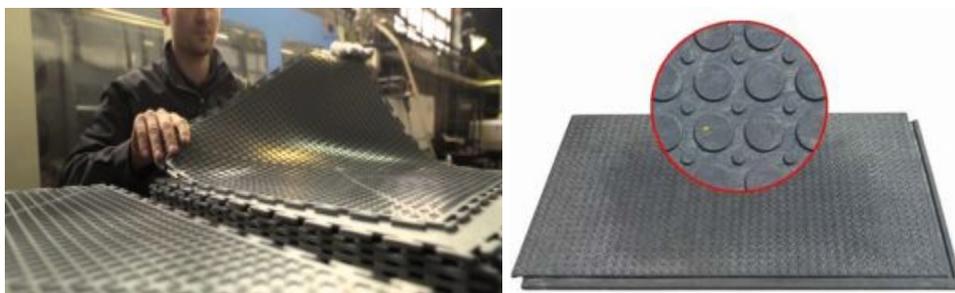


Рис. 1. Модульная плитка

Материал покрытия — поливинилхлоридная (ПВХ) плитка, реже резиновая. Модули характеризуются замковым типом соединения и многослойной структурой. В итоге образуется высокопрочный, износостойкий, хорошо сохраняющий тепло пол. В зависимости от вида плитки и ее класса, в покрытии может быть несколько слоев — от 4 до 6.

Модульное покрытие производится под воздействием сверхвысоких температур, что инициирует эффект вулканизации. Такая обработка обеспечивает высочайший предел прочности. На начальном этапе изготовления это цельное полотно, которое впоследствии нарезается на сегменты требуемого размера. Кроме того, ПВХ или резина — это пластичная масса, лишенная пористых проявлений. Готовый пол получается гладким, гигиеничным [6].

На рынке модули представлены в среднем и высоком ценовом сегменте. Как правило, дорогой материал более износостоек за счет того, что в состав вводится недешевый корундовый наполнитель. Такие затраты целесообразны, если покрытие будет испытывать плотный трафик и передвижение тяжелой техники или оборудования.

Резиновое или ПВХ модульное покрытие может быть использовано на объектах различного назначения. Обе разновидности полов устойчивы к производственным нагрузкам, износостойкие, ударопрочные. Но структура и вид модулей имеют отличия.

Если говорить о резиновых разновидностях, это прочный материал, при этом достаточно упругий, при нажатии пружинит. Таким образом, готовое покрытие характеризуется антискользящими и амортизационными свойствами. Толщина материала может быть гораздо выше, чем у поливинилхлоридных аналогов, и составляет 10...25 мм. Этот материал рекомендовано использовать при устройстве полов в складских, промышленных помещениях, в зонах, где происходят перепады температур, в том числе на улице.

Модули ПВХ более твердые по сравнению с резиной и сопоставимы с керамической плиткой. В отличие от резины модули производятся в разнообразных цветах.

Модульный пол выгодно отличается удобством монтажа. Его можно укладывать практически на все типы оснований. Технология не требует скрупулезной подготовки и может быть реализована без приостановки производственного процесса. Это преимущество актуально в тех областях, где простои в работе приводят к серьезным финансовым потерям.

Анализ литературных источников по технологии устройства полов промышленных зданий позволил изобразить в схематичном виде сопоставление затрат труда (чел.-ч) на устройство 100 м<sup>2</sup> (рис. 2) и выработки на 1 рабочего в смену различных напольных покрытий (рис. 3). Выделен основной этап устройства полов — устройство финишного покрытия. Как видно из рис. 2, наиболее трудозатратно изготовление финишного покрытия полов из керамической плитки, тогда как при устройстве модульных ПВХ-покрытий затраты труда в 2,1 раза меньше, выработка при их укладке на 1 рабочего в смену составляет 26,5 м<sup>2</sup> (рис. 3).

Помимо того, модульный пол можно назвать мобильным. Готовую поверхность можно демонтировать и установить снова, что востребовано на арендованных площадях. Резиновые и ПВХ плитки хорошо избавляют от шумовых помех. Кроме того, покрытие выступает в качестве дополнительной теплоизоляции.

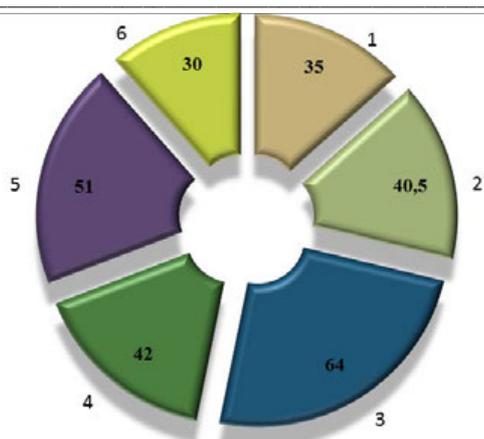


Рис. 2. Сопоставление затрат труда (чел.-см.) на устройство 100 м<sup>2</sup> финишного покрытия различных видов полов: 1 — бетонных; 2 — шлакобетонных плиточных; 3 — керамических плиточных; 4 — керамогранитных; 5 — ПВХ плиточных; 6 — модульных ПВХ-покрытий

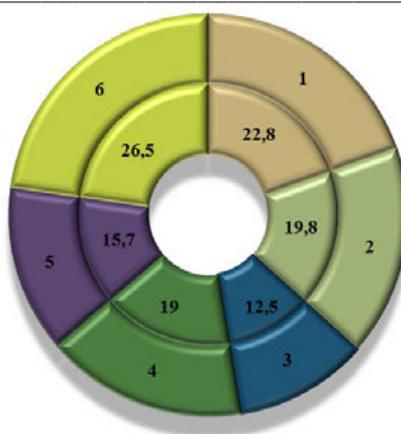


Рис. 3. Сравнительная диаграмма выработки, м<sup>2</sup> на 1 рабочего в смену при устройстве финишного покрытия различных видов полов: 1 — бетонных; 2 — шлакобетонных плиточных; 3 — керамических плиточных; 4 — керамогранитных; 5 — ПВХ плиточных; 6 — модульных ПВХ-покрытий

К преимуществам модульных покрытий относятся: высокая механическая прочность, отсутствие деформации при ударе, износостойкость. Отсутствие жесткого крепления к основанию открывает широкие возможности монтажа, обусловленные разными типами замковых соединений, возможностью укладки на клей, высокой ремонтпригодностью, при которой замена половиц проводится быстро и без лишних затрат, создает возможность локального ремонта и временной эксплуатации. Модульный материал пола способен работать при температурах от  $-40$  до  $+70$  °С, покрытие можно устраивать как внутри, так и снаружи помещения, оно снижает шум, увеличивая звукоизоляцию, что актуально в шумных цехах. Среди недостатков следует отметить, что поливинилхлоридное и резиновое покрытия боятся действия растворителей.

Область использования модульного покрытия полов достаточно обширна: бетонные покрытия в помещениях с механическими нагрузками и действием агрессивных химических веществ, складов с высокими нагрузками на напольную поверхность, цеха и железнодорожное депо, покрытия с противоскользящими характеристиками на территориях теплиц, полы станций технического обслуживания, покрытия пирсов, грузовых причалов, автостоянки и паркинги.

Другим важным направлением устройства напольных покрытий с упрочненным верхним слоем являются топпинговые полы [7].

Благодаря высокой прочности поверхностного слоя бетона, его низкой истираемости, а также определенной плотности бетона для гидроизоляции от проникновения различного рода жидкостей обеспечивается эксплуатационная надежность и долговечность бетонного пола. Однако искусственный камень отличается низкой прочностью на растяжение и высокой пористостью. Под влиянием нагрузок эти свойства заставляют бетон истираться, покрываться дефектами.

При дополнительной обработке материал приобретает ряд достоинств, делая эксплуатацию объекта комфортной. Для решения подобных задач созданы технологии упрочнения верхнего слоя бетона при помощи топпингов. Топпинги для напольных покрытий — это группа материалов, основной задачей которых является защита и упрочнение оснований.

Топпинг пола позволяет существенно снизить и исключить пылеотделение бетонного пола, создать необходимый декоративный внешний вид и тем самым значительно расширить сферу применения, от производственных помещений до торгово-развлекательных центров. В зависимости от предполагаемых нагрузок в топпинг пола добавляют определенные упрочняющие материалы: кварцевый песок, корундовые материалы, металлические частицы.

Столь широкое применение топпинга обусловлено:

1. Значительным сокращением времени на устройство бетонных полов, так как идет непрерывный процесс от момента подачи бетона до устройства финишного покрытия с помощью топпинга пола. В то время как устройство полимерных или наливных полов требует значительных временных интервалов.

2. Существенным увеличением прочности поверхности бетонного пола в зависимости от количества материала наполнителя, и тем самым снижается истираемость и пылеобразование [8, 9].

3. Увеличением срока службы бетонных полов без трещинообразования и сколов [10].

4. Обеспечением декоративности внешнего вида бетонного пола, позволяющей начать его эксплуатацию без нанесения дополнительных покрытий как в торговых залах, так и в производственных помещениях, складах и комплексах с высокой механической нагрузкой.

5. Невысокой стоимостью как материалов, так и трудозатрат.

Основные достоинства топпинга пола выражены в высокой технологичности применяемого состава, простоте нанесения и снижении временных затрат на обустройство пола.

Устройство упрочняющих покрытий зависит от применяемого материала и производится разными способами: на свежеложенный бетон; на уже устоявшийся бетон; после ремонта бетонного пола.

Следует отметить, что бетонные полы с упрочненным верхним слоем в большинстве случаев имеют доступную стоимость, не требуют значительных временных затрат, одновременно увеличивая срок использования пола (рис. 4).



Рис. 4. Устройство бетонного пола в упрочненном верхнем слое

Внесение современных топпингов в покрытие пола с технологической точки зрения является процессом, требующим строгого соответствия перечня выполняемых работ. Любые нарушения приводят к браку в покрытии и образованию критичных дефектов. Устранение подобных огрехов зачастую дороже, чем внесение упрочнителя с нуля.

Толщина упрочненного верхнего слоя зависит от рекомендуемого производителем материала расхода на 1 м<sup>2</sup>. Для получения равномерного слоя толщиной 2...3 мм расход должен составлять приблизительно 5 кг/м<sup>2</sup>. При расходе 3 кг/м<sup>2</sup> толщина составляет 1 мм и менее.

Преобладание мелких фракций, особенно в упрочнителях с наполнителями из кварца, снижает сцепление с основанием, может вызывать «запирание» воды в приповерхностном слое бетона, дать невысокую прочность. При отсутствии адекватного ухода за бетоном полы с такими упрочнителями могут в процессе эксплуатации пылить. Однако преобладание крупных фракций наполнителей снижает технологичность смеси — в ней менее равномерно распределяется влага, и она менее пластична, что может создавать трудности как при определении времени начала затирки, так и в процессе самой затирки поверхности.

Анализ литературных источников по технологии устройства полов с упрочненным верхним слоем по сравнению с другими видами напольных покрытий, обладающих такими же техническими характеристиками, а также с учетом опыта проводимых работ строительными организациями, позволяет выявить достоинства и недостатки использования технологии устройства бетонных полов с упрочнением топпингом.

**Достоинства:**

1. Увеличивается в 4—7 раз износостойкость и ударопрочность.
2. Прочность покрытия выдерживает нагрузку на сжатие не меньше 80 МПа.
3. Быстрота выполнения работы, когда нанесение сухих добавок возможно через 3—4 часа после укладки основного слоя бетона.
4. Устойчивость к термическому воздействию.
5. Хорошая паропроницаемость.
6. Стойкость к механическим воздействиям.
7. Увеличивается срок максимальной эксплуатации данного напольного покрытия.
8. Бетонный пол становится максимально привлекательным, учитывая широкую палитру красок.
9. Простота эксплуатации.

**Недостатки:**

1. Высокие требования к качеству бетонной смеси, так как при неудовлетворительном качестве могут образоваться трещины.
2. Топпинг, где используются только сухие добавки, не наносится на старые бетонные покрытия.
3. Невозможно полностью избавиться от цементной пыли.
4. Недостаточная устойчивость к воздействию кислот, растворителей, горючесмазочных веществ.
5. Невысокая прочность на разрыв и изгибающий момент.

Для обеспечения оптимального набора прочности бетонный пол с упрочняющим топпингом после укладки требует проведения определенного

комплекса мероприятий. Для этой цели обычно используются различные силеры — жидкие составы, образующие на поверхности бетона мембрану или пленку. Это активные составы, способные проникать в топпинг. Они работают на уплотнение структуры пола, защиту от внешних характеристик, образуя защиту от влаги, химических соединений. При всем этом стоимость такого пола мало чем отличается от покрытий без топпинга, зато сама система служит долго и эффективно. Наибольшее распространение среди таких материалов получили инертные акриловые силеры на водной основе или содержащие растворитель (более эффективные). Кроме функции ухода за бетоном они также обеспыливают, уплотняют поверхность и защищают ее от проникновения влаги и жидких химических веществ.

Устранить некоторые недостатки и улучшить свойства покрытия, упрочненного топпингом, можно при использовании различных пропиток для бетонного пола. Наиболее предпочтительны полимерные пропитки. Они придают поверхности дополнительную устойчивость к пылеобразованию, впитыванию влаги, прочность к истиранию. Кроме этого, образованный полимерной пленкой верхний слой хорошо защищает внутреннюю структуру бетона от механических воздействий.

Действие пропиток заключается в том, что жидкая полимерная масса проникает в структуру бетона, заполняя собой все поры. Чем больше пор заполнится жидкостью и чем глубже она проникнет в тело бетона, тем эффективность этой процедуры будет больше.

Пропитки, максимально упрочняющие верхний слой бетона, изготавливаются на основе эпоксидной смолы либо однокомпонентного полиуретанового полимера, отверждение которого происходит во влажной среде. Такие составы представляют собой жидкость с низкой вязкостью, которая может достаточно глубоко проникать в слой бетона, создавая тем самым верхнее бетонополимерное покрытие.

Усиление верхнего слоя бетона обходится недорого, к тому же можно использовать подобные пропитки как на новом покрытии, так и на старых бетонных стяжках. Но, несмотря на высокие свойства полимерных материалов, такие усиленные (топпинговые полы) по истечении времени требуют ремонта.

Даже при соблюдении технологии устройства топпинговых полов и выборе качественного материала наступает тот момент, когда полы необходимо подвергнуть ремонту. Для ремонта применяются две технологии — устройство полимерного покрытия и полирования бетонной поверхности.

Первый способ восстановления топпингового пола, учитывая стоимость полимерного состава, довольно дорогой и трудоемкий. Здесь технология производства работ включает в себя ремонт бетонной поверхности, куда может входить заделка трещин, сколов, обработка температурных швов, обеспыливание поверхности, нанесение пропитки и устройство финишного слоя из полимерного материала. К тому же в процессе эксплуатации полимерное покрытие имеет свойство отслаиваться от основания, если существует риск капиллярного проникновения влаги в бетон либо в процессе не соблюдалась технология производства работ.

Второй метод заключается в использовании специальных полировочных механизмов, от чего подобные работы получили название «технология полированного бетона».

Технология полированного бетона состоит из двух этапов.

Первый этап включает в себя работу по удалению верхнего слоя бетонной поверхности, в котором начался процесс разрушения структуры, т. е. бетон начал крошиться, трескаться и тому подобное.

После этого наступает этап пропитывания поверхности специальным составом, содержащим силикат лития. Он способен проникать в структуру бетона на большую глубину и быстро связывать распадающиеся молекулы кальция, преобразуя их в прочные соединения.

При полировке бетона он может приобрести самые различные виды, имитирующие природный камень или другие материалы (рис. 5). Если рассматривать оба метода, то второй более предпочтителен, поскольку более экономичный.



Рис. 5. Полированный топинговый бетонный пол

При устройстве покрытия по уже существующему основанию, а также при реконструкции старого бетонного основания получили распространение полимерцементные покрытия. Отличием данного вида покрытия является его толщина (8...10 мм). К преимуществам полимерцементного покрытия можно отнести низкую истираемость, высокую прочность и морозостойкость, беспыльность, экономичность. Данные покрытия не требуют дополнительной обработки или ухода, устойчивы к воздействию жиров, масел и воды.

Использование полимерных материалов с основой из полиуретановых, эпоксидных или метилметакриловых смол в качестве покрытия бетонных полов позволяет получить износостойкие, устойчивые к воздействию агрессивных сред полы с упрочненным верхним слоем, обладающие также антистатическими свойствами [11, 12].

Еще одна характеристика полимерного покрытия — степень наполненности, которая влияет на внешний вид поверхности. Для того чтобы получить гладкие упрочненные полы, наполнитель, в качестве которого чаще всего используется кварцевый песок, не добавляется [13, 14]. Чем больше кладется наполнителя и чем крупнее его фракции, тем выше степень шероховатости поверхности пола.

Так, использование кварцевых или корундовых наполнителей позволяет получить химически стойкие полы с упрочненным верхним слоем. А применение металлических наполнителей делает поверхность пола устойчивой к высоким механическим нагрузкам. Все более широкое распространение вы-

соконаполненные упрочненные полы получают при строительстве и ремонте торговых площадей, производственных помещений, стоянок транспорта. По стоимости высоконаполненные полы с упрочненным верхним слоем обходятся дешевле полимерных наливных полов [15].

Необходимо отметить, что согласно ГОСТ 25192—2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» и ГОСТ 13087—2018 «Бетоны. Методы определения истираемости» среди многих характеристик различных видов полов такая важная характеристика, как истирание или износ поверхности покрытий, оказывает серьезное влияние на эффективность эксплуатации зданий и сооружений.

Использование топпингов или упрочнителей значительно понижает истираемость бетонных полов, продлевает срок их службы, снижает издержки на ремонт. Истираемость обычных бетонных покрытий, как правило, колеблется от 0,9 до 1,2 г/см<sup>2</sup> (рис. 6, 1)<sup>1</sup>. Самая распространенная методика введения топпингов — «сухой по влажному». Чтобы система начала работать, выбранный топпинг распределяется по поверхности свежего основания. Пол заглаживается затирочной машиной, неоднократно шлифуется. Обработка ведется до достижения требуемой фактуры (зеркальной или зернистой). При введении кварцевых или корундовых наполнителей в финишный слой покрытий стойкость к истиранию таких полов составляет 0,35 и 0,2 г/см<sup>2</sup> соответственно (рис. 6, 2 а, 2 б)<sup>2</sup>.

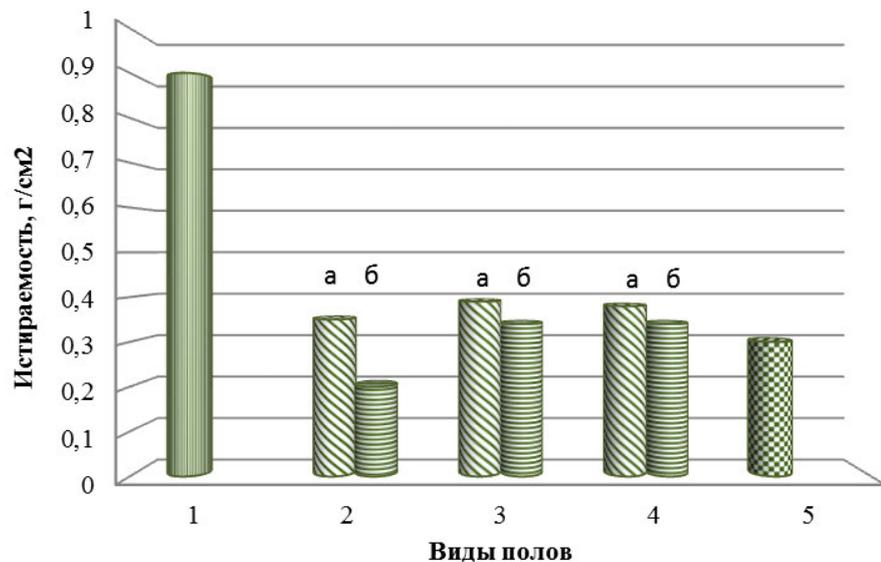


Рис. 6. Истираемость различных типов покрытий: 1 — обычного бетонного пола; 2 — финишного слоя полов по технологии «сухой по влажному»; 3 — финишного слоя полов по технологии «влажный по влажному»; 4 — финишного слоя полов по технологии «влажный по сухому»; 5 — модульного ПВХ-покрытия «Sensor»: а — кварцевый топпинг; б — корундовый топпинг

<sup>1</sup> Марка по истираемости бетона. ООО «Вест-Бетон». URL: <https://vest-beton.ru/stati/marka-po-istiraemosti-betona>

<sup>2</sup> Топпинг-полы — упрочнение верхнего слоя промышленного бетонного пола. Группа компаний ЕКС. URL: <http://eurocos.ru/topping/>

Также может быть реализована иная технология — «влажный по влажному». Согласно этому методу упрочняющая смесь предварительно затворяется водой и распределяется по свежему бетону. При введении кварцевых или корундовых наполнителей в финишный слой покрытий стойкость к истиранию таких полов составляет 0,39 и 0,34 г/см<sup>2</sup> соответственно (см. рис. 6, 3 а, 3 б)<sup>3</sup>.

Еще один способ введения упрочнителей — «влажный по сухому». Основание подвергают фрезеровке, грунтованию. Далее на сухое подготовленное покрытие наносят топпинг, затворенный водой, и пол затирают. При введении кварцевых или корундовых наполнителей в финишный слой покрытий стойкость к истиранию таких полов составляет 0,38 и 0,34 г/см<sup>2</sup> соответственно (см. рис. 6, 4 а, 4 б).

Для сравнения рассмотрены характеристики истираемости модульных ПВХ-покрытий «Sensor» фирмы «ПластФактор», используемых для помещений с высокой степенью нагрузки: производственных цехов, складов, ангаров, торговых помещений, гаражей, которые обладают высокой механической прочностью, отсутствием деформации при ударе, износостойкостью. Истираемость данных покрытий составляет 0,297 г/см<sup>2</sup> (см. рис. 6, 5)<sup>4</sup>.

Вне зависимости от типа топпинг наносится на поверхность максимально равномерно. Расход смеси рассчитывается с расчетом на нагрузки, которые будут действовать на покрытие. Важно контролировать степень зрелости бетона. Если упрочнитель будет введен слишком рано или, наоборот, поздно, нарушится водоцементное соотношение и пол будет с браком.

#### **Выводы:**

1. Сегодня на рынке стройиндустрии представлено множество технологий и материалов для устройства различного типа полов. Одним из основных критериев успешного функционирования современного предприятия является правильно выбранное напольное покрытие [16]. Безошибочно определить необходимое покрытие достаточно сложно. Такой выбор зависит от множества факторов: требований заказчика, условий финансирования, условий на объекте (открытое или закрытое помещение, новое строительство или реконструкция), способности покрытия отвечать различным эксплуатационным требованиям: высокая устойчивость к нагрузкам (статическим, динамическим, температурным), химическая стойкость, ударостойкость, устойчивость к истиранию, эластичность, эстетические свойства и др.

2. Нормальная длительная эксплуатация различных типов полов возможна только в том случае, если поверхностный слой имеет высокую прочность, низкую истираемость, а также необходимую плотность, препятствующую проникновению влаги и жидких химических составов, которые разрушают покрытия.

3. Для решения подобных задач созданы технологии упрочнения финишного покрытия при помощи топпингов либо модульных ПВХ или резиновых плит. Данные технологии позволяют существенно снизить либо исключить пылеотделение пола, создать необходимый декоративный внешний вид и тем самым значительно расширить сферу применения — от производственных помещений до торгово-развлекательных центров.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Каталог напольных покрытий из ПВХ. Завод напольных покрытий «ПластФактор». URL: <https://plastfactor.com/>

4. Новые тенденции в развитии технологий устройства полов сооружений различного назначения основаны на поиске видов покрытий и технологий их устройства с учетом снижения трудоемкости и стоимости работ с одновременным повышением качества и долговечности полов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Четверик Е. С. Особенности выбора покрытий для пола в зависимости от условий эксплуатации // Форум молодых ученых. 2019. № 4(32). С. 1172—1176.
2. Гончарова М. А., Каширская О. А., Ивашкин А. Н., Комаричев А. В. Современные способы устройства высококачественных декоративных бетонных полов : сб. трудов конференции «Наукоемкие технологии и инновации» юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. С. 117—121.
3. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Конструктивные и технологические особенности напольных покрытий : монография. Минск : БГТУ, 2011. 273 с.
4. Немахов И. В. Полы для общественных зданий // Аллея науки. 2017. Т. 3. № 9. С. 161—163.
5. Zhang Y., Procoplo L. J. Waterborne epoxy dispersions and curing agents for garage floor coatings // Jct Coatingstech. 2015. № 12(1). Pp. 34—43.
6. Abdesselam Y., Agassant J.-F., Castellani R. Rheology of plastisol formulations for coating applications // Polymer Engineering and Science. 2017. № 57(9). Pp. 982—988.
7. Stawiski B., Radzik L. Need to identify parameters of concrete in the weakest zone of the industrial floor // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2017. № 245. Article Number: UNSP 022063.
8. Виноградов А. Л. Использование сухих упрочнителей для повышения износостойкости и прочности поверхности бетонных полов // Технологии бетонов. 2013. № 6. С. 24—27.
9. Авакян Р. А. Использование модифицированных сухих смесей при изготовлении высокопрочных промышленных полов // Строительные материалы. 2005. № 10. С. 82—83.
10. Трещиностойкие высокопрочные наливные полы «БеПоРС» на модифицированном гидравлическом вяжущем / Н. М. Мороз, С. В. Ананьев, Р. Н. Москвин, Е. А. Белякова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2014. № 2(10). С. 178—185.
11. Галкина Ю. В., Лундин Л. М. Современные решения в области полиуретановых наливных полов // Технологии бетонов. 2016. № 5—6 (118—119). С. 9—10.
12. Kim I. J. Investigation and interpretation of flooring wear development for pedestrian slip resistance assessments // Tribology Transactions. 2018. № 61(1). Pp. 168—177.
13. Kaddo M., Sinotova M. Study of dry mixes with aluminate cements for self-leveling floors // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. № 365. Article Number: UNSP 032035.
14. Потанов А. А., Акчурин Т. К. Разработка эффективных полимерцементных высокопрочных мелкозернистых бетонов для монолитных полов промышленных зданий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013 № 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PotapovAkchurin-2013\\_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PotapovAkchurin-2013_2(27).pdf).
15. Чудаев А. Г. Промышленные полы с топпингом: актуальность и практическое решение проблемы // Строительные материалы. 2005. № 10. С. 80—81.
16. Чередниченко Т. Ф., Тухарели А. В., Габбасов Р. Т. Критерии классификации современных напольных покрытий // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе : сб. науч. тр. по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2019. С. 371—375.

© Чередниченко Т. Ф., Тухарели В. Д., Габбасов Р. Т., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Чередниченко Т. Ф., Тухарели В. Д., Габбасов Р. Т. Современные тенденции устройства напольных покрытий сооружений различного назначения с упрочненным верхним слоем // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 47—57.

*Об авторах:*

**Чередниченко Татьяна Федотовна** — канд. техн. наук, доц. кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [tati\\_cher@mail.ru](mailto:tati_cher@mail.ru)

**Тухарели Владислав Дмитриевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Габбасов Роберт Табисович** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Tat'yana F. Cherednichenko, Vladislav D. Tukhareli, Robert T. Gabbasov**

**Volgograd State Technical University**

## **MODERN TRENDS IN THE DESIGN OF FLOOR COVERINGS FOR VARIOUS PURPOSES WITH A HARDENED TOP LAYER**

When designing and making a constructive decision in the conditions of modern construction, special attention is paid to the floors as the main element of the construction object, the most loaded part of it. Therefore, development of technologies of the device of floors with the strengthened top layer of wear is that area in which advantages of the constructive decision in the maximum way are shown. The article deals with the most progressive at the moment in the construction market types of finishing layers of coatings with a hardened top layer. The evaluation of coatings with a hardened top layer by the most characteristic quality parameter — abrasion was carried out. The advantages and disadvantages of the considered variants of coatings are determined.

**Key words:** floors, modular coatings, finish coating layer, hardened top layer, comparison of coatings.

*For citation:*

Cherednichenko T. F., Tukhareli V. D., Gabbasov R. T. [Modern trends in the design of floor coverings for various purposes with a hardened top layer]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 47—57.

*About authors:*

**Tat'yana F. Cherednichenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [tati\\_cher@mail.ru](mailto:tati_cher@mail.ru)

**Vladislav D. Tukhareli** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Robert T. Gabbasov** — Master's Degree student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 691:699.86

**О. Г. Чеснокова, В. Д. Чеснокова, М. Д. Чеснокова**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ КРАЕВЫХ ЗОН МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ**

В представленной статье анализируется соответствие практического опыта тепловизионного контроля с теоретическими исследованиями проблемных участков ограждающих конструкций зданий. Исследование проведено на примере краевых зон многослойной ограждающей конструкции индивидуального жилого дома.

**Ключевые слова:** теплофизические свойства материалов, коэффициент теплопроводности, температурные поля, тепловизионный контроль.

В наше время возводятся здания с многослойными энергоэффективными стенами из качественных материалов, соответствующих требованиям по теплопередаче. В таких объектах по определению не должно возникать проблем с промерзанием краевых зон и неблагоприятных участков стен.

Однако в современных публикациях большой процент исследований посвящен проблемам в эксплуатации зданий с многослойными стенами [1, с. 62—63]. Исследования, направленные на повышение энергоэффективности возводимых зданий, проводились неоднократно [2, с. 17—19; 3; 4, с. 208].

В представленной статье анализируется практическое исследование на примере существующего объекта, доказывающее, что типовые расчеты по рядовому сечению стены не соотносятся с действительной ситуацией в краевых зонах этой же стены (рис. 1). Кроме того, не всегда учитываются дополнительные неблагоприятные факторы.



Рис. 1. Фрагмент фасада исследуемого здания

В индивидуальном жилом доме с подтвержденной визуальным осмотром энергоэффективной конструкцией стены все же есть на некоторых участках определенные проблемы с промерзанием и образованием плесени. Много-слойная конструкция стены подробно представлена на рис. 2.

1 — наружная отделочная часть:  
кирпичная кладка из силикатного пустотного кирпича (ГОСТ 379),  
толщина слоя  $\delta_1 = 120$  мм, коэффициент теплопроводности  $\lambda_1 = 0,7$  Вт/(м °С),  
паропроницаемость материала  $\mu_1 = 0,13$  мг/(м · ч · Па);  
2 — теплоизоляционный слой:  
полистеробетон плотностью ( $\rho = 150$  кг/м<sup>3</sup>), толщина слоя  $\delta_2 = 50$  мм, коэффициент теплопроводности  $\lambda_2 = 0,057$  Вт/(м °С),  
паропроницаемость материала  $\mu_2 = 0,135$  мг/(м · ч · Па);  
3 — несущий слой:  
керамзитобетонный блок ( $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>), толщина слоя  $\delta_3 = 200$  мм,  
коэффициент теплопроводности  $\lambda_3 = 0,24$  Вт/(м °С),  
паропроницаемость материала  $\mu_3 = 0,19$  мг/(м · ч · Па)  
4 — внутренняя отделочная часть:  
известково-песчаный раствор, толщина слоя  $\delta_4 = 15$  мм, коэффициент теплопроводности  $\lambda_4 = 0,7$  Вт/(м °С),  
паропроницаемость материала  $\mu_4 = 0,12$  мг/(м · ч · Па)

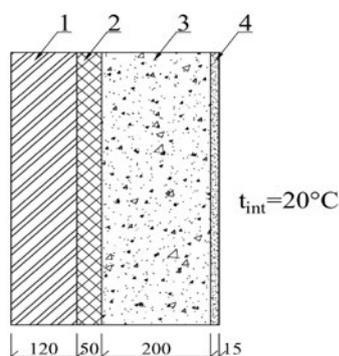


Рис. 2. Рассматриваемая конструкция стены

При расчете данной конструкции получено проведенное термическое сопротивление теплопередаче  $R_{0пр} = 1,9$ . Требуемое термическое сопротивление  $R_{0норм} = 1,75$ . Из чего следует вывод, что рассчитываемая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

Исходя из теоретического расчета, в такой конструкции не должно возникать промерзаний, плесневого гриба и других неблагоприятных последствий эксплуатации.

Испытание было проведено в соответствии с действующим национальным стандартом Российской Федерации DIN EN 13187:1999(NEQ) ГОСТ Р 54852—2011 с помощью тепловизионной камеры Testo 875-2. Серийный номер: 2409785. Объектив: стандартный 32°. Исследование проводилось в феврале, то есть в период наиболее неблагоприятных погодных условий. Температура наружного воздуха в момент исследования порядка минус 15 °С. Коэффициент излучения — 0,95.

Исходя из представленного тепловизионного анализа видно, что наиболее теплая точка на фасаде с внешней стороны находится в стыке окна с наружной стеной и составляет минус 6,7 °С (рис. 3). При температуре наружного воздуха минус 15 °С мы видим, что излучение тепла из дома довольно интенсивно. Оно подогревает наружную поверхность окна на 8 °С.

Далее проводилось измерение температур с внутренней стороны в приоконной зоне.

Самая холодная точка на внутренней поверхности стены находится в верхнем углу и составляет 6,0 °С (рис. 4). При этом температура внутреннего воздуха — 22 °С.

Проблемным участком при теплотехническом проектировании оболочки здания является узел стыка оконного блока и наружной стены. Оконный блок значительно тоньше стены и может быть расположен в оконном проеме с различным заглублением [1, с. 62]. Порой степень заглубления окна диктует-

ся эстетическими соображениями. К примеру, заказчик хотел бы иметь более широкий подоконник в комнате. И как следствие — просьба к установочной бригаде отодвинуть оконный блок как можно ближе к наружной поверхности стены. Позже при эксплуатации наиболее часто возникают проблемы именно в узлах примыкания окон к стенам. Такие проблемы можно объяснить также низким качеством оконных блоков, несоответствующих нормативным требованиям по теплозащите, неправильным или некачественным монтажом, плохим качеством теплоизоляционных материалов [1, с. 63]. В любом случае сопротивление теплопередаче окна значительно меньше сопротивления теплопередаче стены.



Рис. 3. Снимок тепловизора на представленном на рис. 1 фрагменте фасада обследуемого здания



Рис. 4. Снимок тепловизора на внутренней поверхности в углу жилого помещения

В исследуемом здании проблема краевой зоны выявлена наглядно с помощью тепловизора.

На рисунке 5 показано, что самая низкая температура находится в верхнем углу окна и составляет  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

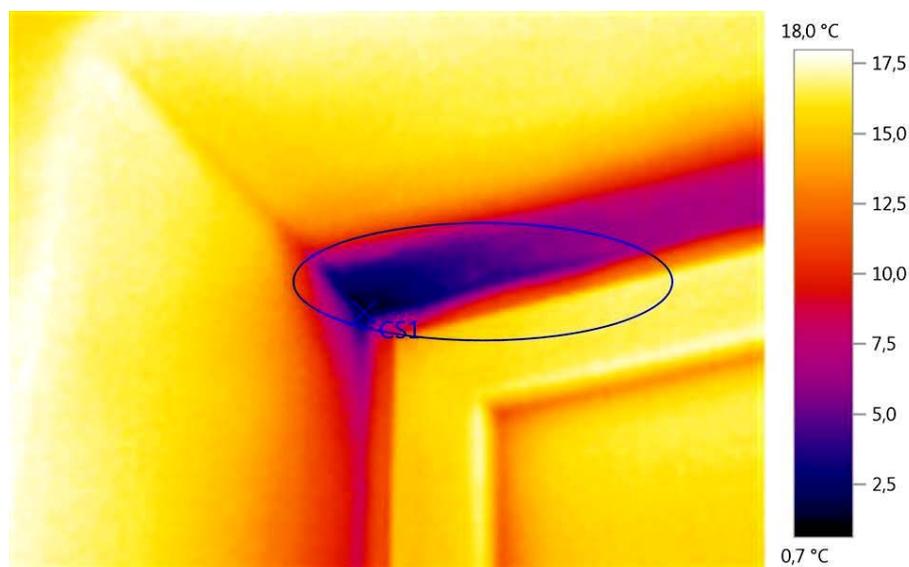


Рис. 5. Снимок тепловизора на внутренней поверхности в верхнем углу оконного откоса жилого помещения

В данном конструктивном решении фактическое расстояние от наружной поверхности стены до наружной поверхности оконной рамы составляет порядка 100 мм, т. е. оконная рама расположена в зоне концентрации конденсата и частично промерзшей части стены.

Теоретические расчеты и научные исследования подтверждают существующую на практике ситуацию [5]. Выбранные для строительства данного индивидуального жилого дома материалы и их толщины нерациональны с точки зрения расчета конструкции на паропроницаемость. Похожие исследования проводились ранее и подтверждают приведенное выше утверждение. [6, с. 52; 7, с. 73; 8, с. 209].

Ситуация в граничной зоне окна и оконного откоса усугубляется наличием в наружной стене стальной перемычки, являющейся мостиком холода [9, с. 96], а также неправильной установкой оконной рамы в зоне отрицательных температур — близко к наружной поверхности стены [10, с. 16; 11, с. 162].

На рисунке 6 получены расчетные кривые распределения действительного и максимального парциального давления. Отчетливо видно, что примерно до 140...150 мм от наружной поверхности стены в зимний период будет образовываться конденсат. Стена на треть промерзает, и расположение окна на расстоянии 100 мм от наружной поверхности недопустимо. В данном случае проблему можно было бы исключить, имея расчет стены на паропроницаемость до начала строительства.

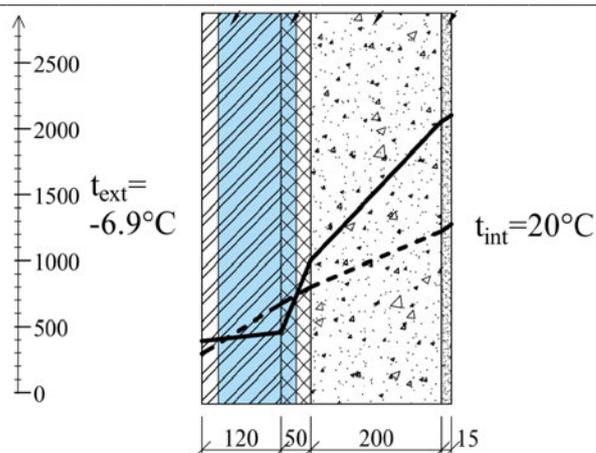


Рис. 6. Кривые распределения действительного и максимального парциального давления в расчетной схеме показывают, что в зоне их пересечения (отмечено голубым) в стене образуется конденсат: --- кривая показывает распределение действительного парциального давления водяного пара ( $e$ ); — кривая показывает распределение максимального парциального давления водяного пара ( $E$ )

На рисунке 7 показано, что самая низкая температура находится в верхнем углу окна и составляет  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

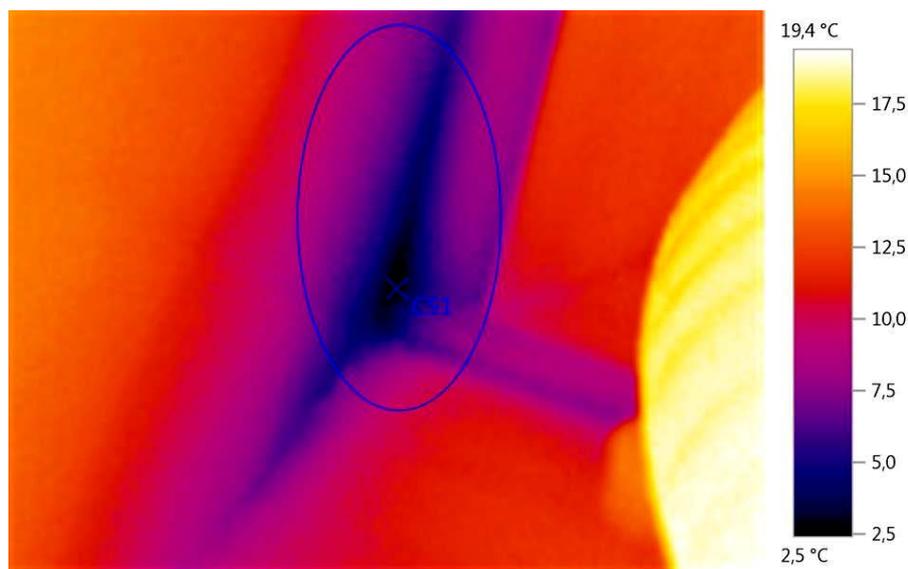


Рис. 7. Снимок тепловизора на внутренней поверхности в нижнем углу оконного откоса на границе с подоконником

Таким образом, ясно, что образование плесени в углах оконного откоса и по периметру откоса на границе с окном неизбежно. А с понижением температуры наружного или внутреннего воздуха возможно и образование льда на внутренней поверхности оконного откоса.

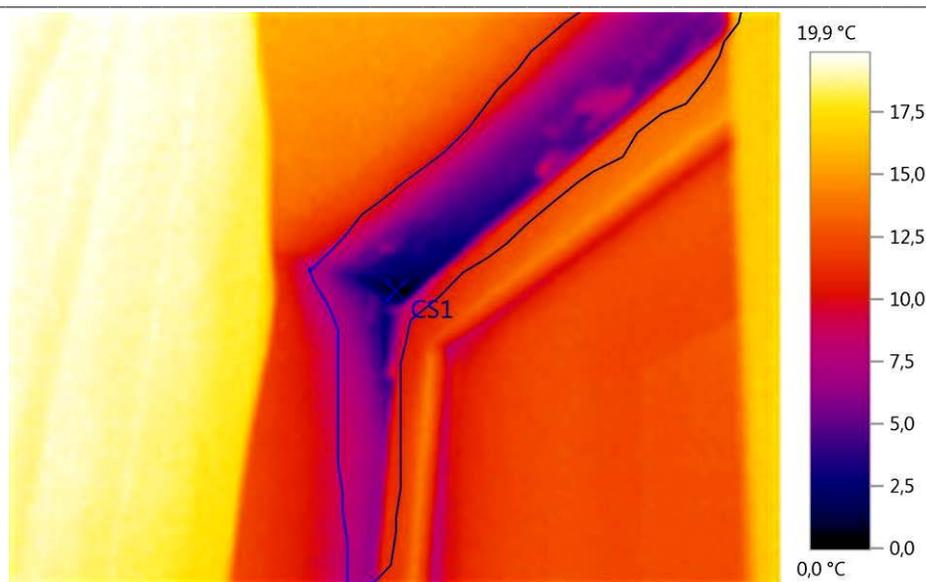


Рис. 8. Снимок тепловизора на внутренней поверхности в верхнем углу другого оконного откоса жилого помещения

На рисунке 8 показано, что самая низкая температура находится в верхнем углу окна и составляет 0 °С. Кроме того, на снимке тепловизора также видно частичное разрушение отделочного слоя вследствие постоянного воздействия отрицательных температур и повышенной влажности.

На рисунке 9 показано, что самая низкая температура находится в нижнем углу окна и составляет 1,6 °С.

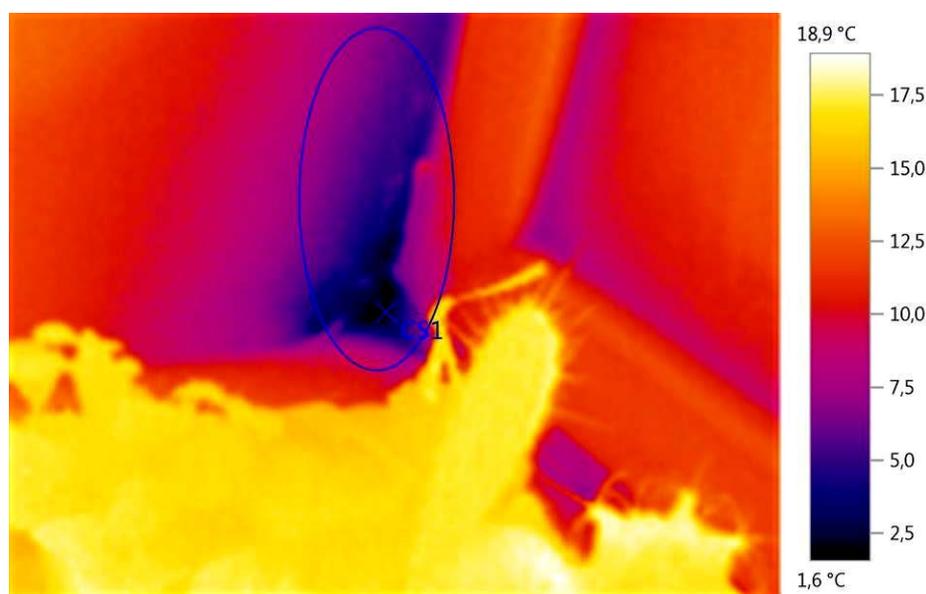


Рис. 9. Снимок тепловизора на внутренней поверхности в нижнем углу другого оконного откоса жилого помещения

Различные подходы и методики расчета приведенного термического сопротивления многослойных конструкций с неоднородными включениями [12, с. 10; 13, с. 1090—1092; 14, с. 804] дают схожие выводы. В данной статье к выводам авторов привели инструментальные исследования и практические измерения, соответствующие дифференциальному подходу к расчетам неоднородных конструкций и их краевых зон.

#### **Выводы:**

1. Существующий опыт строительства показывает, что при принятии решения по выбору конструкции наружной стены заказчик должен руководствоваться не только теплотехническим расчетом на соответствие требованиям по теплопередаче. Необходимо проводить расчет на паропроницаемость конструкции и выявление зоны выпадения конденсата в массиве наружной стены. Необходимо исключить все возможности промерзания и образования плесени на внутренней поверхности ограждающей конструкции [15, с. 367; 16, с. 21; 17].

2. В случае стандартного решения величина полученного при расчете данной конструкции приведенного сопротивления теплопередаче  $R_{0пр}$  больше требуемого  $R_{0норм}$  ( $1,9 > 1,75$ ). Конструкция (рис. 2) соответствует нормам только в рядовом сечении. А в краевых зонах, таких как стыки с окнами и дверьми, возникают проблемы.

3. Не следует забывать, что некоторые корректировки распределения температуры и влажности внутри ограждающей конструкции дают различные ошибки при возведении здания, такие как неверная установка оконных блоков, щели, неплотная подгонка, технологические отверстия [16, с. 20; 18, с. 2620].

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Корниенко С. В., Глухова Д. Ф. Влияние размещения оконного блока по толщине стены на теплопотери // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4(67). С. 62—71.
2. Корниенко С. В. Малоэтажное жилищное строительство в поисках совершенства // Энергосбережение. 2019. № 1. С. 16—21.
3. Korniyenko S. V. Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: case study // E3S Web of Conferences Ser. "High-Rise Construction 2017, HRC 2017" 2018. Pp. 02005.
4. Чеснокова О. Г., Григоров А. Г. Сравнительный анализ распределения температурных полей верхнего откоса окна в зависимости от способа утепления // Современные научные исследования: теоретический и практический аспект : сборник статей Международной науч.-практ. конф. 2016. С. 204—208
5. Burlachenko O. V., Chesnokova O. G., Cherednichenko T. F. Effective way to improve thermophysical properties of exterior walls of brick buildings during reconstruction // IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Pp. 012050.
6. Чеснокова О. Г. Сравнительный анализ влагонакопления в ограждающей конструкции в зависимости от расположения слоя утеплителя // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 47(66). С. 51—60.
7. Чеснокова О. Г. Анализ влагонакопления в пенобетонном блоке // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 47(66). С. 70—81.
8. Чеснокова О. Г., Григоров А. Г. Анализ распределения температурных полей верхнего откоса окна в зависимости от конструкции стальной перемычки // Современные научные исследования: теоретический и практический аспект : сборник статей Международной науч.-практ. конф. 2016. С. 208—211.

9. *Чеснокова О. Г.* Использование сверхтонкой теплоизоляции для исключения промерзания стальных оконных перемычек // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 45(64). С. 94—101.
10. *Чеснокова О. Г., Григоров А. Г.* Анализ распределения температурных полей краевой зоны откоса окна при наружном утеплении // Наука в современном мире: теория и практика. 2016. № 1(4). С. 14—18.
11. *Чеснокова О. Г., Григоров А. Г.* Сравнительный анализ распределения температурных полей в зависимости от формы ограждающей конструкции // Тенденции формирования науки нового времени : сборник статей Международной науч.-практ. конф. 2015. С. 162—164.
12. *Великородный Я. А., Жарков А. Ф., Чеснокова О. Г.* К вопросу инженерной методики расчета приведенного термического сопротивления многослойных конструкций с неоднородными включениями // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2014. № 1(31). С. 10.
13. Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation / A. Gorshkov, N. Vatin, D. Nemova etc. // Procedia Engineering. 2015. № 117(1). Pp. 1085—1094.
14. Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure / G. P. Vasilyev, V. A. Lichman, M. V. Kolesova etc. // Energy and Buildings. 2015. № 86. Pp. 803—807.
15. Nonstationary thermal conduction through the building envelope / N. Vatin, A. Gorshkov, P. Rymkevich etc. // Applied Mechanics and Materials. 2014. № 670—671. Pp. 365—369.
16. *Korniyenko S. V.* Renovation of apartment buildings in Russia Construction of Unique // Buildings and Structures 2018. № 5(68). С. 15—23.
17. *Korniyenko S. V.* Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: Case study // E3S Web of Conferences. 2018. No. 33, 02005.
18. *Dylewski R., Adamczyk J.* Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls // Building and Environment. 2011. № 46. Pp. 2615—2623.

© *Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д., 2020*

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д.* Исследование температурных режимов краевых зон многослойной ограждающей конструкции здания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 58—66.

*Об авторах:*

**Чеснокова Оксана Геннадьевна** — доцент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, oxxxana72@yandex.ru

**Чеснокова Варвара Дмитриевна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, varvaracheshnok2013@yandex.ru

**Чеснокова Марина Дмитриевна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

***Oksana G. Chesnokova, Varvara D. Chesnokova, Marina D. Chesnokova***

***Volgograd State Technical University***

## **INVESTIGATION OF TEMPERATURE CONDITIONS OF BOUNDARY ZONES OF MULTILAYER BUILDING ENVELOPE STRUCTURE**

The article analyzes the correspondence of practical experience of thermal imaging control with theoretical studies of problem areas of building envelope structures. The study was carried out on the example of the boundary zones of the multilayer enclosing structure of an individual residential building.

**Key words:** thermophysical properties of materials, coefficient of thermal conductivity, temperature fields, thermal imaging control.

*For citation:*

Chesnokova O. G., Chesnokova V. D., Chesnokova M. D. [Investigation of temperature conditions of boundary zones of multilayer building envelope structure]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 58—66.

*About authors:*

**Oksana G. Chesnokova** — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [oxxana72@yandex.ru](mailto:oxxana72@yandex.ru)

**Varvara D. Chesnokova** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [varvaracheshnok2013@yandex.ru](mailto:varvaracheshnok2013@yandex.ru)

**Marina D. Chesnokova** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 625.72

**С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, А. И. Болдин**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАРКОВОК НА ГОРОДСКИХ ДОРОГАХ**

Выполнены исследования по обоснованию технических ограничений при проектировании прибордюрных парковок на улично-дорожной сети больших городов, позволяющие снизить трудоемкость инженерных расчетов и повысить безопасность дорожного движения в зоне их действия.

**Ключевые слова:** городская дорога, парковка, ширина проезжей части, тротуар, пропускная способность, интенсивность движения.

В условиях дефицита свободной территории вдоль городских дорог строительство прибордюрных парковок, особенно в центральной части городов, является рациональным решением. Известны инженерные решения парковки автомобилей с их установкой под углом  $0...150^\circ$  на проезжей части дорог с использованием широких тротуаров или придорожной территории [1—5].

Проектные решения городских парковок следует выполнять с учетом:

- интенсивности и состава движения транспортных потоков;
- пропускной способности дорог;
- резервов ширины проезжей части и тротуаров;
- ширины газонов, зеленых насаждений и придорожной территории, свободной от застройки [1, 6—8].

Обоснование возможности устройства парковки, определение ее параметров и рациональной схемы расстановки автомобилей необходимо выполнять с учетом интенсивности движения в час пик наиболее загруженного направления дороги. Расчетный уровень загрузки направления должен быть не более 70 % его пропускной способности. Расчетная приведенная интенсивность движения ( $N_c^p$ ) не должна превышать предельно допустимую  $N_d$ , которая зависит от числа и ширины полосы движения, числа автобусных маршрутов, доли грузовых автомобилей в составе транспортного потока и принимается по табл. 1. Расчетная интенсивность движения, приведенная к легковому автомобилю, принимается на основе текущего учета движения или на основе прогноза в расчетный год.

Размещение парковок возможно полностью на проезжей части, тротуарах с частичным или полным их использованием, в парковочных карманах. Возможность устройства парковки и схема парковки определяются шириной ПЧ, тротуаров, газонов и расчетной интенсивностью движения транспорта.

Размещение парковки полностью на проезжей части (ПЧ) определяется из условия обеспечения ее нормативной ширины:

1. На дорогах одностороннего движения при ширине проезжей части ( $B_n$ ) не менее  $b_n^{\min}$  (табл. 2):

$$B_{\Pi} \geq b_{\Pi}^{\min}, \text{ м} \quad (1)$$

2. На дорогах с двухсторонним движением ширина ПЧ должна быть не менее 9,0 м при ширине первой полосы движения ( $b_1$ ), обеспечивающей минимальное расстояние от стоящего автомобиля до сплошной осевой разметки 3 м и ширину парковочного места вдоль тротуара 3,0 м:

$$b_1 \geq b_{\Pi} + 3, \text{ м} \quad (2)$$

Т а б л и ц а 1

*Допустимая приведенная интенсивность движения*

Число полос направления движения	Ширина полосы движения, м	Доля грузовых автомобилей, %	Число автобусных маршрутов	Допустимая приведенная интенсивность, авт./час
1	3,00	11	10	1830
1	3,50	11	25	1820
1	3,75	11	35	1800
1	3,00	5	10	1940
1	3,50	5	25	1930
1	3,75	5	35	1900
1	3,00	2	10	2000
1	3,50	2	25	1980
1	3,75	2	35	1960
2	3,00	11	10	2180
2	3,50	11	25	2240
2	3,75	11	35	2260
2	3,00	5	10	2300
2	3,50	5	25	2370
2	3,75	5	35	2390
2	3,00	2	10	2370
2	3,50	2	25	2450
2	3,75	2	35	2460
3	3,00	11	10	3450
3	3,50	11	25	3580
3	3,75	11	35	3640
3	3,00	5	10	3650
3	3,50	5	25	3790
3	3,75	5	35	3850
3	3,00	2	10	3750
3	3,50	2	25	3900
3	3,75	2	35	3960

3. На дорогах местного значения в жилой застройке с успокоенным двухсторонним движением ширина ПЧ не менее 9,0 м при ширине полосы движения 3,0 м и ширине парковочного места 3,0 м<sup>1</sup> [9]. Паркирование выполняется

<sup>1</sup> Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Методы успокоения движения. М., Минтранс РФ, 2017. 75 с.

Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. М., Минтранс РФ, 2002. 110 с.

на островках безопасности в виде прямоугольника или трапеции длиной не менее 9,0 м. Трапецеидальный направляющий островок устраивается под углом 45° и радиусами закругления углов трапеции 1,5 и 5,0 м (рис. 1).

Таблица 2

Минимальная ширина проезжей части  $b_{II}^{\min}$

Ширина	Угол парковки автомобилей относительно бордюра, °				
	0	30	45	60	90
Средняя (матем. ожид.)	6,65	9,30	9,97	10,22	9,47
Максимальная, $P = 90 \%$	6,96	9,68	10,38	10,62	9,77
Минимальная, $P = 90 \%$	6,34	8,92	9,57	9,83	9,16

На прямоугольных направляющих островках парковка устраивается на 2—3 машины (рис. 2).

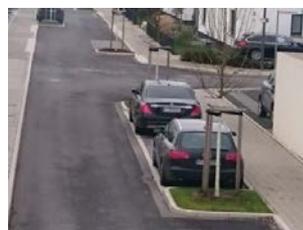
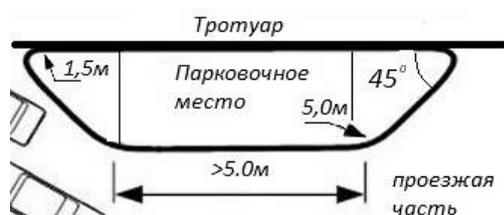


Рис. 1. Размеры трапецеидального направляющего островка на участках УДС с успокоенным движением

Рис. 2. Парковка на прямоугольном направляющем островке

Островки устраиваются шириной не менее 2,5 м, достаточной для компактной парковки автомобиля. Для ориентации водителей проезжающего транспорта и защиты припаркованных автомобилей от случайного наезда в торцах высаживаются деревья или низкорослый кустарник (рис. 3).

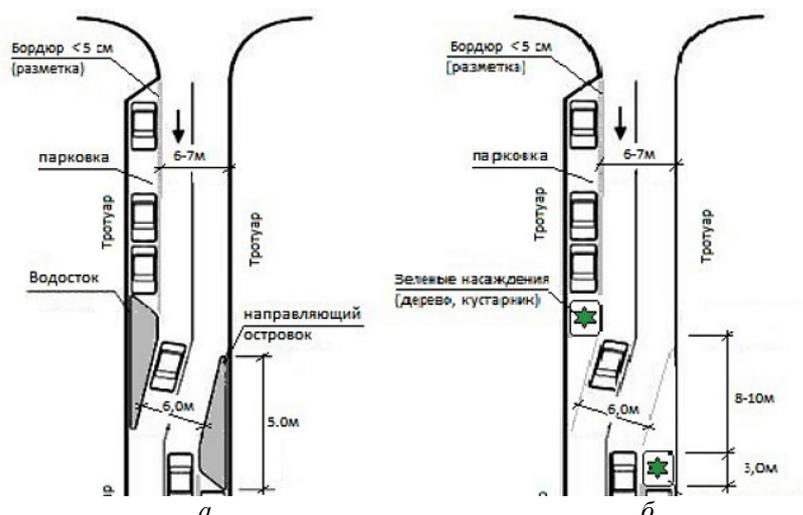


Рис. 3 Устройство парковок за направляющими островками на участках УДС с успокоенным движением

При устройстве островков в форме треугольников (рис. 3, а) или прямоугольников размером  $2,0 \times 3,0$  м (рис. 3, б) с зелеными насаждениями парковка устраивается в «карманах» за направляющими островками (рис. 4).



Рис. 4. Парковка в кармане за направляющим островком

4. На дорогах местного значения в жилой застройке с двухсторонним движением при ширине ПЧ не менее 10,0 м и минимальной шириной полосы движения — 3,5 м при движении маршрутного транспорта и полосы паркования легковых автомобилей не менее 3,0 м;

5. Для других дорог определяющим является не минимальная ширина ПЧ, а условие обеспечения существующей или перспективной интенсивности движения транспорта с уровнем загрузки не менее 0,70.

6. При ширине полосы движения менее 3,75 м (особенно на дорогах с одной полосой для движения в каждом направлении) не рекомендуется расстановка автомобилей под углом более  $45^\circ$  к краю ПЧ без устройства карманов. Сопряжение кармана с проезжей частью дороги устраивается в виде закругления радиусом не менее 1,0 м.

Если условие обеспечения 70 % пропускной способности дороги не обеспечивается или ширина ПЧ меньше указанных выше значений, то определяется возможность размещения парковки полностью на тротуаре или с частичным заездом на тротуар при соблюдении условий:

1. Заезд автомобиля на тротуар с ПЧ возможен при высоте бордюрного камня со скошенным краем не более 10 см. Если высота камня больше 10 см, то разместить парковку следует на тротуаре или с частичным заездом на тротуар (с заездом непосредственно с ПЧ) невозможно. В этих случаях необходимо устройство пандусов (рис. 5).

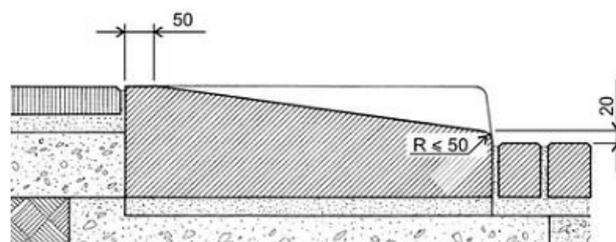


Рис. 5. Конструкция пандуса для въезда автомобиля на парковку

2. Для размещения парковки полностью на тротуаре необходимо, чтобы ширина тротуара ( $B_{тр}$ ), включая минимальную ширину паркирования, была не менее значений ( $B_{мин}^{тр}$ ).

Минимальная нормативная ширина тротуара ( $B_{мин}^{тр}$ ) рассчитывается из условия обеспечения расчетной интенсивности пешеходного движения ( $N_p^n$ ) в одном направлении в час пик, а также размещения в пределах тротуаров опор, мачт, деревьев:

$$B_{мин}^{тр} = \frac{b^n N_p^n}{P_S} + a + b, \text{ м} \quad (3)$$

где  $b^n$ ,  $P_S$  — соответственно минимальная ширина (0,75 м) и пропускная способность одной пешеходной полосы движения (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

*Пропускная способность полосы тротуара<sup>2</sup>*

Пешеходные пути	Пропускная способность одной полосы движения, чел./час
Тротуары вдоль жилых зданий	700
Тротуары вдоль общественных зданий и сооружений	800

Ширина пешеходной части тротуара (без полосы безопасности и дополнительной полосы) должна быть кратной 0,75 м и не менее значений, указанных в СП 42.13330.2011.

В случае отсутствия данных о расчетной интенсивности пешеходного движения ( $N_p^n$ ) в одном направлении в час пик минимальная нормативная ширина тротуара ( $B_{мин}^{тр}$ ) принимается по табл. 4.

При примыкании тротуаров к стенам зданий или оградкам следует увеличивать указанную ширину тротуаров на 0,5 м (СП 42.13330.2011).

3. Возможность парковки автомобиля с частичным использованием тротуара определяется условием:

$$(B_{тр} - B_{мин}^{тр}) + (B_{ф}^{пч} - B_{мин}^{пп}) \geq 3,0, \quad (4)$$

где  $B_{ф}^{пч}$  — фактическая ширина проезжей части.

Минимальная ширина  $B_{мин}^{пп}$  рассчитывается из условия пропуска расчетной (перспективной) интенсивности движения в одном направлении  $N_c^p$ :

при наличии движения маршрутных транспортных средств:

$$B_{мин}^{пп} = \left( \frac{N_d}{N_c^p} - 1 \right) B_{ф}^{пч} + 3,75, \text{ м} \quad (5)$$

<sup>2</sup> Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Методы успокоения движения. М., Минтранс РФ, 2017. 75 с.

при отсутствии движения маршрутного транспорта:

$$B_{\min}^{\text{пр}} = \frac{N_{\text{д}}}{N_{\text{с}}^{\text{р}}} B_{\min}^{\text{пч}}, \text{ м} \quad (6)$$

Т а б л и ц а 4

*Минимальная ширина тротуара*

Категория дорог и улиц	Минимальная ширина тротуара, м	
	примыкает к газону	наличие опор освещения
<b>Магистральные улицы:</b>		
общегородского значения:		
непрерывного движения	8,9	9,6
регулируемого движения	7,4	8,1
районного значения:		
транспортно-пешеходные	6,65	7,35
пешеходно-транспортные	7,4	8,1
<b>Улицы и дороги местного значения:</b>		
улицы в жилой застройке	5,9	6,6
улицы и дороги научно-производственных, промышленных и коммунально-складских районов	5,9	6,6
<b>Проезды:</b>		
основные	5,4	6,1
второстепенные	5,15	5,85

Если условие (4) выполняется, то определяются параметры проектируемой парковки и возможные схемы расстановки автомобилей исходя из величины резерва ширины проезжей части, тротуаров и размеров машино-места при различных способах и углах расстановки автомобилей.

Если условие (4) не выполняется, то парковку следует устраивать в парковочных карманах (при наличии возможности) за счет придорожной территории (газонов) [1, 8—14].

Радиусы закругления бортового камня или кромки проезжей части следует принимать согласно СП 42.13330.2011: для магистральных улиц и дорог регулируемого движения не менее 8 м, для местных дорог не менее 5 м, при отсутствии движения допускается принимать 1,0 м (рис. 6).



Рис. 6. Сопряжение парковки с проезжей частью  $R = 1,0$  м

С целью уменьшения негативного влияния припаркованных автомобилей на движение транспортных потоков, обеспечения безопасности движения пешеходов, парковку целесообразно устраивать в парковочных карманах (при наличии возможности) за счет тротуаров и газонов (рис. 7).



Рис. 7. Парковочный карман за счет тротуара

В целях исключения заезда автомобилей на пешеходную часть тротуара в процессе парковки по контуру парковки рекомендуется устанавливать ограничители или ограждения<sup>3</sup>. Схема установки ограничителя металлического и отбойника из резины или пластика представлены на рис. 8, 9. Ограждение устанавливается вдоль края парковки, расположенной на тротуаре, на всем ее протяжении в виде малых архитектурных форм или металлических столбиков с шагом не более 1,5 м (для исключения проезда автомобилей между ограждениями). При размещении парковок на ПЧ высоту ограждения рекомендуется принимать 0,8...1,0 м от уровня тротуара и 1,1...1,2 м для парковок с частичным или полным использованием тротуара.



Рис. 8. Ограничитель металлический



Рис. 9. Отбойник резиновый

<sup>3</sup> Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. М., Минтранс РФ, 2002. 110 с.

Размещать парковки предпочтительно после наземных пешеходных переходов на расстоянии не менее 5,0 м или поворота на перекрестке и не менее 15,0 м от остановки общественного транспорта. Парковка ТС запрещена на участках с видимостью менее 100 м. Парковочное пространство следует отделять от проезжей части разметкой или бордюром высотой до 5 см или до 10 см со скошенным краем.

Авторами разработаны типовые схемы парковок на проезжей части и тротуарах улично-дорожной сети.

При устройстве парковок требуется организация мест для маломобильных групп граждан в количестве 10 % от общего числа мест (не менее 1) с применением дорожного знака 6.4 (Парковка) и знаков дополнительной информации 8.6.1—8.6.9 (Способ постановки) и 8.17 (Инвалиды), а также разметкой 1.23. Габариты парковочного места составляют 7,5 × 3,6 м для параллельной парковки и 5,0 × 3,6 м для перпендикулярной парковки<sup>4</sup>. Устройство парковок целесообразно вблизи пешеходных переходов на расстоянии не более 50 м от социальных учреждений<sup>5</sup>. Места для стоянки (парковки) транспортных средств инвалидов, размещаемые вдоль транспортных коммуникаций, разрешается предусматривать при уклоне дороги для условий: комфортных — не более 25 ‰; нормальных — от 26 до 50 ‰; стесненных — от 51 до 100 ‰. По краю тротуара или пешеходной дорожки, возле места стоянки (парковки) транспортного средства инвалида или выхода с пешеходной полосы, ведущей от этого места, следует предусматривать пандус. Расположение и параметры пандуса определяются с учетом обеспечения удобства передвижения человека в кресле-коляске от места стоянки (парковки) на тротуар или пешеходную дорожку. На входах и выходах с парковок предельно допустимый уклон тротуара или пешеходной дорожки принимается до 20 ‰, а для пандусов — до 50 ‰ (для комфортных условий — до 25 ‰).

Выполненные исследования по обоснованию технических ограничений при проектировании прибордюрных парковок на городских дорогах позволяют повысить безопасность дорожного движения в зоне парковок, снизить трудоемкость инженерных расчетов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексиков С. В., Болдин А. И. Проектирование прибордюрных парковок на городских дорогах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 47 (66). С. 172—180.
2. Dawn P. Guegan, Peter T. Martin, Wayne D. Cottrell.: Prioritizing Traffic Calming Projects Using the Analytic Hierarchy Process. Murray, Utah 2000. 26 p.
3. Debacker M., Harshman R. Concrete measures help manage traffic // Concrete Products. 2001. Vol. 104. № 10.
4. Ewing R. Legal status of traffic calming // Transportation Quarterly. 2003. Vol. 57. № 2. Pp. 11.
5. Grammenos F., Tasker-Brown J. Residential Street Pattern Design for Healthy Liveable Communities. URL: <http://www.greenroofs.ca/nua/ip/ip02.htm>.
6. Knapp K. K. Traffic-Calming Basics. Civil Engineering. 2000. Vol. 70. № 1. Pp. 46.
7. Langdon Ph. Calming rural roads // Planning. 2003. Vol. 69. № 5. Pp. 30.
8. Mohan D. Road safety in less-motorized environments: future concerns // International Journal of Epidemiology. 2002. Vol. 31. № 3. Pp. 527.

<sup>4</sup> Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. М., Минтранс РФ, 2002. 110 с.

<sup>5</sup> Там же.

9. *Appleyard B. S.* Planning safe routes to school // *Planning*. 2003. Vol. 69. № 5. Pp. 34.
10. *Crouse D. W.* Traffic calming: A social issue // *Bulletin of Science, Technology and Society*. 2004. Vol. 24. № 2. Pp. 138—144.
11. Road traffic crashes on the Yaoundé-Douala road section, Cameroon / *J. Sobngwi-Tambekou, J. Bhatti, G. Kounga, L.-R. Salmi, E. Lagarde* // *Accident Analysis & Prevention*. 2010. Vol. 42. № 2. Pp. 422—426.
12. *Strong C., Ye Z.* Spillover effects of yield-to-pedestrian channelizing devices // *Safety Science*. 2010. Vol. 48. № 3. Pp. 342—347.
13. *Waters H. R., Hyder A. A., Phillips T. L.* Economic evaluation of interventions to reduce road traffic injuries — a review of the literature with applications to low and middle-income countries // *Asia-Pacific Journal of Public Health*. 2004. Vol. 16. № 1. Pp. 23—31.
14. *Womble J. E., Bretherton M. Jr.* Traffic Calming Design Standards for New Residential Streets: A Proactive Approach. Institute of Transportation Engineers // *ITE Journal*. 2003. Vol. 73. № 3. Pp. 50.

© *Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Болдин А. И., 2020*

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Обоснование технических ограничений при проектировании парковок на городских дорогах / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, А. И. Болдин // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2020. Вып. 1(78). С. 67—76.

*Об авторах:*

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

**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)

**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)

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

***Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman, Aleksandr I. Boldin***

***Volgograd State Technical University***

## **JUSTIFICATION OF TECHNICAL LIMITATIONS IN THE DESIGN OF PARKING LOTS ON CITY ROADS**

Studies on the justification of technical limitations in the design of instrument Parking on the road network of large cities, allowing to reduce the complexity of engineering calculations and improve road safety in the zone of their action.

**Key words:** city road, Parking, width of the carriageway, sidewalk, capacity, traffic intensity.

*For citation:*

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Boldin A. I. [Justification of technical limitations in the design of parking lots on city roads]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 67—76.

*About authors:*

**Sergei V. Aleksikov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [AL34rus@mail.ru](mailto:AL34rus@mail.ru)

**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)

**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)

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

УДК 711.7-163

**М. М. Девятов<sup>а</sup>, В. С. Волков<sup>а</sup>, И. М. Вилкова<sup>б</sup>, О. В. Гагулина<sup>а</sup>**

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

<sup>б</sup> *ООО «Аспект»*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНДИКАТОРОВ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ЭСТЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

В статье рассматриваются модели формирования целевого и критериального уровней визуальной информационно-эстетической системы автомобильных дорог и придорожного пространства. С учетом тенденций применения цифровых технологий в городском планировании представлены объективные и субъективные параметры оценки эстетических потребительских свойств дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды.

**Ключевые слова:** безопасность движения, городская среда, оценочные критерии, математическая модель, архитектура и ландшафтный дизайн.

Анализ современных тенденций формирования стратегий развития городской дорожно-транспортной инфраструктуры<sup>1</sup> [1] говорит о необходимости описания ее состояния, планирования развития и модернизации с использованием современных цифровых технологий<sup>2</sup> [1]. Для реализации таких подходов необходимо описание этой инфраструктуры соответствующей системой моделей (логических, математических и др.), алгоритмов и показателей (индикаторов) их реализующих. Немаловажное место в общей системе дорожно-транспортной инфраструктуры города занимает визуальная информационно-эстетическая подсистема, это важно для обеспечения удобства и безопасности дорожного движения, что подтверждается многочисленными исследованиями и рекомендациями в этой области<sup>3</sup> [2—4].

На основе экосистемного подхода к инженерно-строительной деятельности (ЭПИД) [5] разработана логическая модель формирования целевого и критериального уровней системы информационно-эстетических потребительских свойств (ИЭ ПС) автомобильных дорог и придорожного пространства (рис. 1), описанная ранее [6].

В соответствии с этой моделью все объекты обустройства автомобильных дорог и придорожного пространства должны представлять собой единую систему в виде информационно-эстетического поля, которое несет в себе определенные целевые функции. Достижение этих целевых функций оценива-

<sup>1</sup> О цифровой трансформации транспортного комплекса. 2018. URL: <http://government.ru/news/34821/>.

Цифровизация Московского транспорта. URL: [https://report2010-2017.transport.mos.ru/pdf/ar/ru/mega-projects\\_digitalization.pdf](https://report2010-2017.transport.mos.ru/pdf/ar/ru/mega-projects_digitalization.pdf).

<sup>2</sup> Методика формирования индекса качества городской среды // Распоряжения Правительства РФ URL: <http://docs.cntd.ru/document/553937399>.

В России появился стандарт «Умного города». URL: <http://www.minstroyrf.ru/press/v-rossii-poyavilsya-standart-umnogo-goroda/>.

<sup>3</sup> ВСН 18—84. Указания по архитектурно-ландшафтному проектированию автомобильных дорог // Минавтодор РСФСР. М. : Транспорт, 1985. С. 47.

ется соответствующими индикаторами, определяемыми в результате сравнения показателей их описывающих на критериальном и оценочно-измерительном уровнях.

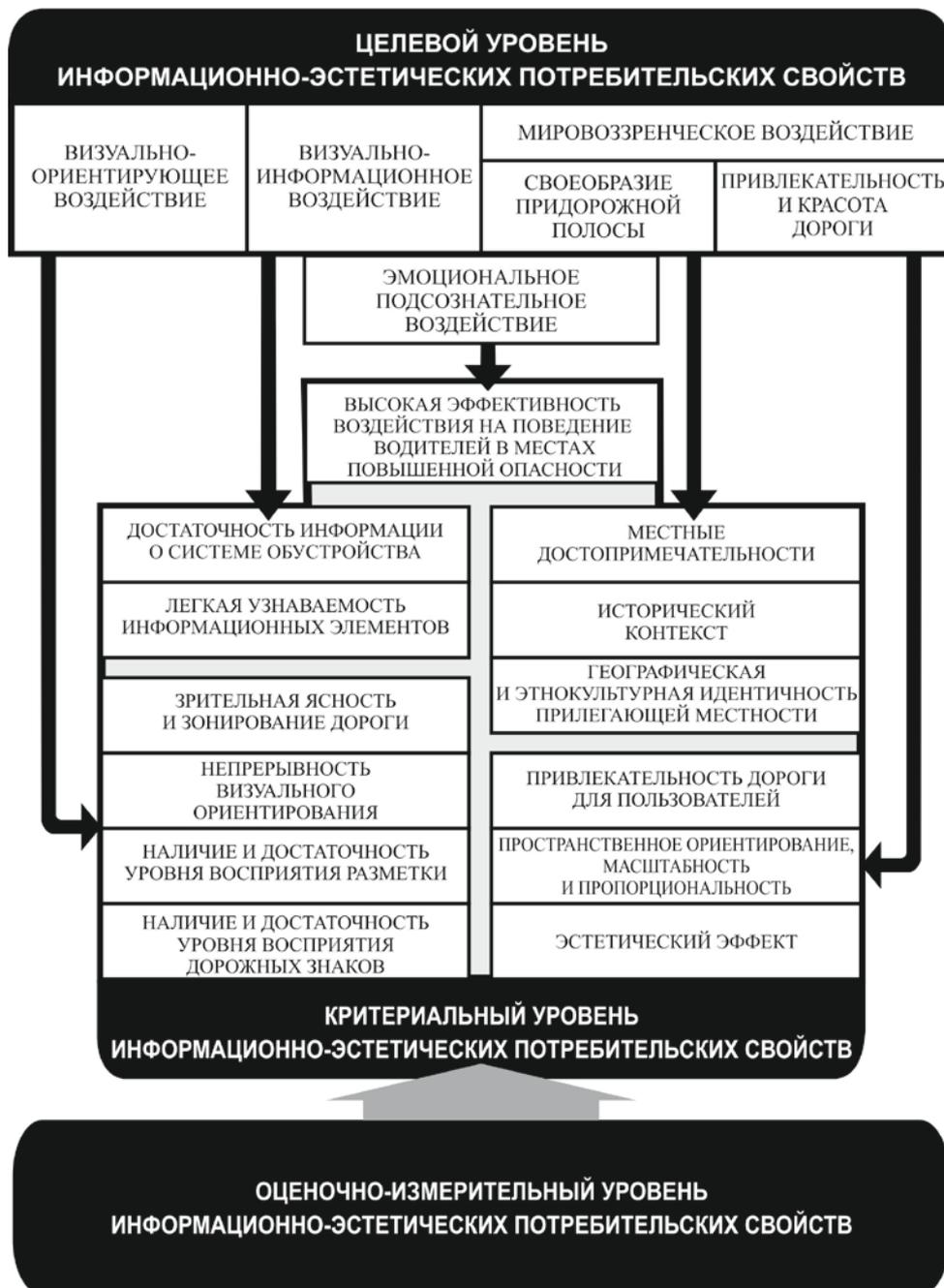


Рис. 1. Логическая модель формирования целевого и критериального уровней системы информационно-эстетических потребительских свойств автомобильных дорог и придорожного пространства

Система (ИЭ ПС) определяется с применением экспертно-аналитического метода при обязательном участии социума как сознательного компонента природно-технической системы в соответствии с методологией ЭПВД. В качестве представителей социума — экспертов — выделено три группы специалистов различного уровня исходя из категории (уровня) предлагаемых им для решения задач (табл. 1). В обобщенном виде последовательность организационно-технических решений описана ранее [6].

Т а б л и ц а 1

*Состав экспертных групп для определения перечня потребительских свойств комплексной функционально-потребительской системы «сеть автомобильных дорог» транспортной природно-технической системы на разных уровнях иерархии*

Уровень вопросов для рассмотрения	Содержание вопросов для рассмотрения экспертными группами	Состав экспертов, представляющих определенные группы специалистов и населения
I	Формирование целевого уровня потребительских свойств	Региональное, муниципальное самоуправление; региональные, муниципальные администрации; политические, общественные организации; средства массовой информации
II	Формирование критериального уровня потребительских свойств	Специалисты — руководители транспортных, дорожных, коммунальных, эксплуатационных предприятий; территориальное общественное самоуправление; представители групп с особыми (ограниченные возможности) интересами (женщины, дети/родители, инвалиды, пожилые люди, другие); частные предприниматели
III	Формирование системы частных показателей оценочно-измерительного уровня потребительских свойств	Специалисты — главные инженеры, главные архитекторы, инженеры-проектировщики дорожных, транспортных, коммунальных, эксплуатационных предприятий; водители и пешеходы; посетители, покупатели, деловые люди

Таким образом, на основе опроса экспертов 1-го уровня сформулированы **целевые установки** информационно-эстетической системы (ИЭС) способов воздействия на участников дорожного движения. Введем следующие обозначения для последующего использования при формировании цифровой модели системы информационно-эстетических потребительских свойств автомобильных дорог и придорожного пространства:

**Ц11** — *визуально-информационное воздействие* на участников движения (и других пользователей), которое заключается в передаче информации для водителя об условиях движения, предоставлении пользователям придорожного пространства необходимой информации, информировании пассажиров о расписании движения общественного транспорта и др.

**Ц12** — *визуально-ориентирующее воздействие*, представляющее собой воздействие через определенную конфигурацию пространства, окружающего автомобильную дорогу, и других способов (разметка, знаки, элементы обустройства), вызывающих у водителя ощущение необходимости вполне опреде-

ленного поведения в виде конкретных действий в процессе перемещения в дорожном пространстве.

**Ц13** — *мировоззренческое воздействие* через придание своеобразия придорожной зоне.

**Ц14** — *мировоззренческое воздействие* через создание привлекательного и красивого образа дороги. Это воздействие должно быть направлено в первую очередь на создание и обеспечение безопасного коридора движения путем формирования у всех пользователей дороги и придорожной зоны определенного мировоззрения, а также создания комфортной среды обитания. Это может достигаться и оцениваться через систему определенных воздействий на человека, которые могут носить преднамеренный и непреднамеренный характер.

**Ц15** — *эмоционально-подсознательное воздействие* через создание высокоэффективной рекламы безопасности дорожного движения, имеющей подсознательное воздействие на поведение водителей и размещаемой в местах повышенной опасности.

Для оценки достижения этих целевых функций в предложенной системе необходим перечень конкретных критериев и индикаторов, оценивающих их соответствие требованиям потребителей, другими словами, потребительских свойств (ПС). Таким образом, формируется общая схема комплексной системы информационно-эстетических потребительских свойств дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды (ИЭ ПС ДТИ ГС) (рис. 2).

Учитывая, что система ИЭ ПС ДТИ ГС должна позволять оценивать их уровень и принимать соответствующее обоснованное решение о необходимости их изменения (совершенствования), то эта система должна работать в две стадии.

Первоначально, в стадии развертывания, она включает в себя выбор и определение перечня качественных требований и нормативных (сравнительных) показателей ( $Y_{СПС}$ ) их описывающих на критериальном уровне ИЭ ПС, она реализуется с привлечением экспертов II уровня.

Далее, в стадии свертывания этой системы, сначала устанавливают принцип оценочного определения (обоснование нормативного, допустимого, сравнительного визуального образа) показателей, описывающих фактическое состояние выбранных выше частных количественных показателей (индикаторов) ( $Y_{ФПС}$ ). Для этого привлекаются эксперты III уровня. Затем рассчитывают интегральные показатели, характеризующие соответствие фактического состояния элементов системы на разном уровне и всей системы в целом ее нормативным (сравнительным) показателям.

Перейдем к математическому описанию показателей данной системы с использованием методов квалиметрии [7].

Тогда для каждого показателя ПС уровень соответствия фактического и сравнительного состояния ПС будет определяться частным коэффициентом обеспеченности достижения оценочных показателей ПС ( $O_{xyj}$ ), который предлагается определять по отношению уровней фактических ( $Y_{ФПС}$ ) и сравнительных ( $Y_{СПС}$ ) ПС:

$$O_{xyj} = \frac{Y_{ФПС}}{Y_{СПС}}. \quad (1)$$

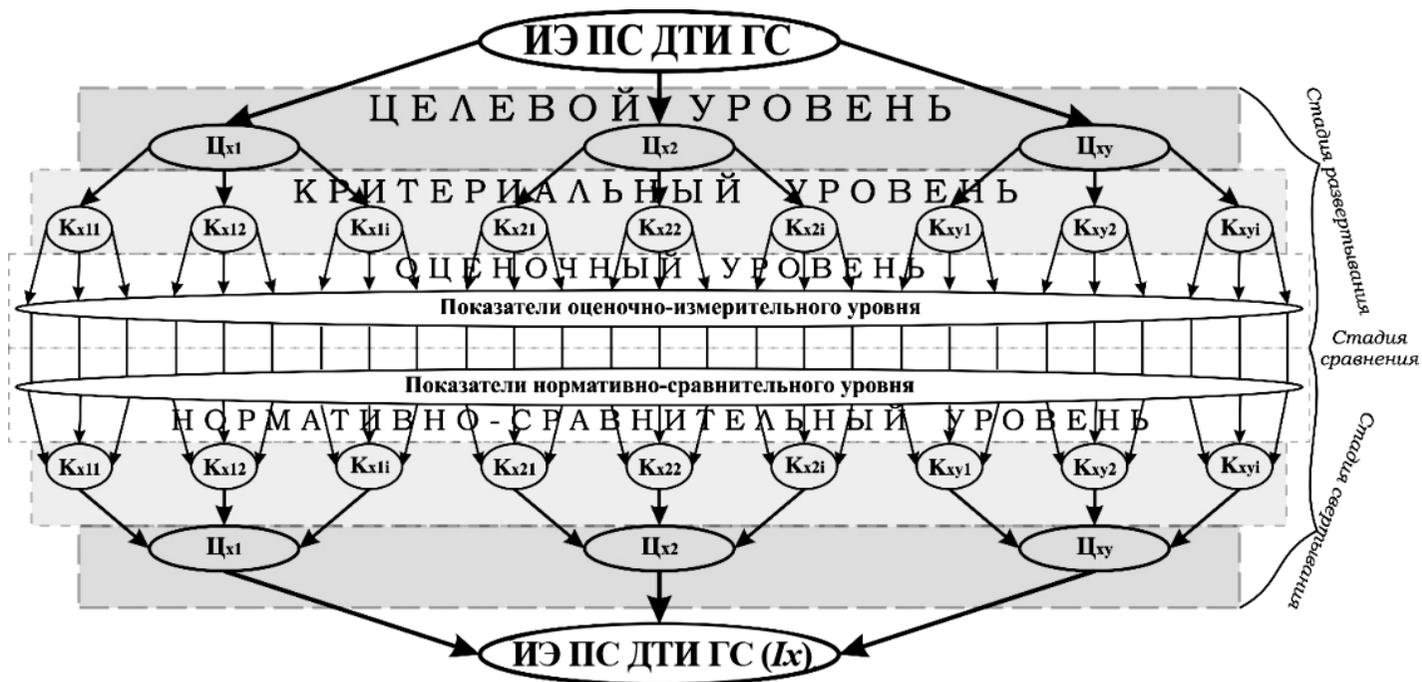


Рис. 2. Графическая схема логико-математической модели формирования и определения комплексного интегрального показателя для определения уровня информационно-эстетических потребительских свойств дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды (ИЭ ПС ДТИ ГС)

На следующем этапе уровень обеспеченности достижения критериальных показателей ПС ( $K_{xyi}$ ) определяем по формуле (2):

$$K_{xyi} = \sum_{j=1}^p O_{xyij} m_{xyij}, \quad (2)$$

где  $O_{xyij}$  — уровень обеспеченности (соответствия) достижения оценочных параметров ПС;  $m_{xyij}$  — масштабность воздействия частных параметров ПС на конкретные группы потребителей.

Коэффициент масштабности воздействия ПС  $m_{xyij}$  предлагается определять по доле населения, попадающего под воздействие соответствующего ПС, от всего населения, находящегося в зоне притяжения соответствующего ДО. Это может быть:

- доля населения, проживающего в придорожной зоне и находящегося на сети дорог соответствующего города (муниципального образования), при рассмотрении сети дорог муниципального значения;
- доля населения, проживающего в придорожной зоне и находящегося на дороге в зоне тяготения сети дорог, конкретной дороги или другого дорожно-го объекта.

Для определения этих показателей воспользуемся следующими зависимостями:

$$m_{ijk} = \frac{\sum_{k=1}^m t_k n_{ijk}}{24N}, \quad (3)$$

где  $t_k$  — продолжительность воздействия частных параметров ПС ( $K_{jj}$  ПС) на  $k$ -ую группу пользователей, часов в течение расчетных суток;  $n_{ijk}$  — количество пользователей  $k$ -ой группы, подверженных воздействию потребительского свойства  $i$ -ой группы на  $j$ -ом уровне в течение  $t_k$  часов, человек;  $N$  — численность населения города (или в зоне действия соответствующего ДО), человек;  $k$  — номер группы из  $m$  групп пользователей.

Перечень групп пользователей зависит от конкретных ПС и может включать в себя: водителей, пассажиров транспортных средств, пешеходов, ожидающих на остановках, работающих в киосках, на лотках, работающих в других объектах и предприятиях в придорожной зоне, проживающих в придорожной зоне (под придорожной зоной понимают предприятия, здания и т. д., имеющие выход или окна в сторону проезжей части не далее 100 метров от нее).

Уровень обеспеченности (соответствия) достижения целевых показателей ПС ( $C_{xy}$ ) определяем, учитывая различную значимость (весомость) этих показателей:

$$C_{xy} = \sum_{i=1}^m K_{xyi} \alpha_{xyi}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{xyi}$  — весомость показателей соответствующей группы ПС ( $x$ ) на соответствующем целевом уровне ( $y$ ), на соответствующем уровне ( $i$ ) критериальных ПС.

Установление весомости соответствующих параметров  $\alpha_{xyi}$  — на уровне критериальных показателей,  $\beta_{xy}$  — на уровне целевых показателей осуществляется с использованием экспертных исследований и аппарата факторного анализа.

На основе оценки и учета масштабности воздействия параметров на потребителей ( $m_{xyij}$ ), их весового влияния ( $\alpha_{xyij}$ ,  $\beta_{xy}$ ) в конечном счете оцениваем интегральный уровень информационно-эстетических ПС ( $I_3$ ):

$$I_x = \sum_{y=1}^n C_{xy} \cdot \beta_{xy}, \quad (5)$$

где  $\beta_{xy}$  — весомость соответствующих показателей на уровне целевых ПС.

Математическую модель интегрального показателя представляется целесообразным применять для определения «индекса соответствия» для установления очередности выполнения работ по МАД в условиях ограниченного финансирования.

В настоящее время в соответствии с постановлением Правительства РФ принята методика оценки городской среды. В этой методике в качестве таких индикаторов принят индекс качества городской среды. Этому индексу дано следующее определение: «Индекс города представляет собой цифровое значение (в баллах) состояния городской среды, полученное в результате комплексной оценки количественных и поддающихся измерению индикаторов, характеризующих уровень комфорта проживания на соответствующей территории (далее — индикаторы)». При этом городская среда характеризуется совокупностью природных, архитектурно-планировочных, экологических и других факторов, формирующих среду жизнедеятельности города на определенной территории и определяющих комфортность проживания на этой территории<sup>4</sup>. Далее указывается, что для ее оценки «используются только рассчитываемые индикаторы, исключающие субъективный характер оценки и обеспечивающие их достоверность и объективность».

Однако имеются такие цели (целевые установки), для которых не существует однозначного объективного показателя. В этих случаях необходимо вводить *субъективные* показатели. В качестве таких субъективных показателей нами предлагается использовать *шкалу субъективных формализованных ценностей*, выстроенную по оценке специалистов-экспертов. Так, например, такой подход предложено использовать для группы параметров, характеризующих ИЭПС. В этом случае предлагается использовать субъективные *образные измерительные критерии* [6, 8].

В придорожной зоне УДС города, являющейся составной частью городской среды, формируется рассматриваемая нами система информационно-эстетических потребительских свойств. Перечень и количество частных оценочных показателей ПС определяется на основе нормативной документации и экспертного опроса. При этом показатели, в соответствии с существующими теориями [5, 7], должны отвечать следующим требованиям: всесторонность; измеримость; объективность (субъективность); достоверность; учет риска причинения вреда потребителям. В связи с этим при их определении учитывались нижеследующие условия.

1. В качестве критериев оценки потребительских свойств на оценочно-измерительном уровне в зависимости от измерительных возможностей могут использоваться объективные и субъективные параметры и оценки (рис. 3).

<sup>4</sup> Методика формирования индекса качества городской среды // Распоряжения Правительства РФ URL: <http://docs.cntd.ru/document/553937399>.

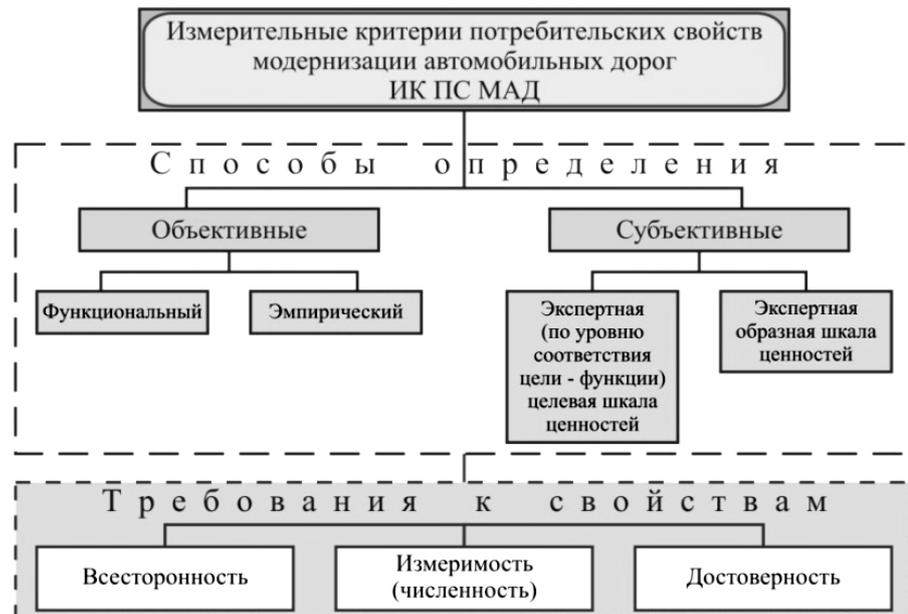


Рис. 3. Система способов определения и требований к свойствам оценочных и измерительных критериев информационно-эстетических потребительских свойств дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды (ИЭ ПС ДТИ ГС)

2. Для параметров из числа ИЭПС, которые носят объективный характер (например — уровень визуального восприятия горизонтальной дорожной разметки), измерительные и нормативные требования определяются в соответствии с действующими инструктивно-нормативными документами и в данной статье не рассматриваются.

3. Для параметров субъективного характера, по которым к настоящему времени недостаточно проработаны или отсутствуют измерительные и нормативные требования, следует разработать соответствующие **эталонные требования**, по которым эксперты могут определить уровень соответствия по шкале от 0 до 1.

4. В качестве измерительных параметров для ИЭПС с учетом зарубежного опыта предлагается использовать **эталонные образные оценочные критерии**<sup>5</sup> [9].

5. Перечень и количество частных ограничительных (сравнительных) **эталонных образных оценочных критериев** ПС должен соответствовать перечню оценочных показателей, количество которых и их значение определяется в соответствии с существующими нормами или устанавливаются органами местного самоуправления (заказчиками) с помощью экспертов, как описано выше.

В соответствии с изложенными условиями и описанными выше условными обозначениями сформирована система показателей для информационно-эстетических потребительских свойств дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды (ИЭ ПС ДТИ ГС). В качестве примера в табл. 2 и 3 представлены отдельные группы показателей.

<sup>5</sup> Merkblatt über bauliche Massnahmen zur Verkehrsberuhigung. FGSV, 1994. P. 28.

Таблица 2

Целевые и критериальные показатели системы информационно-эстетических потребительских свойств

Целевые показатели				Критерии информационно-эстетических потребительских свойств				
у	Ц <sub>і</sub>			β <sub>і</sub> весомость целевых показателей	К <sub>і-ј</sub>			α <sub>іј</sub> весомость показателей группы ПС (х)
	Целевой уровень ИЭПС	Визуально- ориентирующее воздействие	Ц11			Критериальный уровень ИЭПС	Зрительная ясность и зонирование дороги	
Непрерывность визуального ориентирования				К11-2				
Наличие и достаточность уровня восприятия разметки				К11-3				
Наличие и достаточность уровня восприятия дорожных знаков				К11-4				

Целевые и оценочные показатели системы информационно-эстетических потребительских свойств

γy	Целевые показатели			βi	Информационно-эстетические потребительские свойства на оценочно-измерительном уровне			
	Цi				Oijx			
Целевой уровень ИЭПС	Визуально-ориентирующее воздействие	Ц11	Оценочно-измерительный уровень ИЭПС		Наличие и ориентирующий уровень доминантных элементов		O11-1-1ф	
							O11-1-1с	
							Уровень соответствия линейных элементов дороги пространственному характеру придорожной обстановки	O11-1-2ф
								O11-1-2с
							Наличие и уровень распознавания придорожных элементов, обеспечивающих непрерывность визуальной ориентации в направлении движения для водителя	O11-2-1ф
								O11-2-1с
							Продолжительность службы дорожной разметки	O11-3-1ф
								O11-3-1с
							Соответствие схемы разметки существующему движению транспорта	O11-3-2ф
								O11-3-2с
Соответствие схемы разметки существующему движению пешеходов	O11-3-3ф							
	O11-3-3с							
Уровень соответствия дорожных знаков сложившейся системе придорожных объектов	O11-4-1ф							
	O11-4-1с							
Уровень восприятия дорожных знаков с учетом их размещения (восприятие соответствующих полос движения и др.)	O11-4-2ф							
	O11-4-2с							

Учитывая специфичность показателей, сформированных авторами на стадии анкетного опроса, на основе анализа вышеперечисленных литературных источников и результатов исследований авторов, включенных в подсистему ИЭПС на оценочном уровне, подобрана, разработана и сформирована база **эталонных образных форм** для визуальной экспертной оценки информационно-эстетических потребительских свойств дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды (ИЭ ПС ДТИ ГС). Приведем описание некоторых из них.

Наличие и информационно-эстетический уровень доминантных элементов (К11-1) оценивают исходя из необходимости в сложившихся условиях движения осознанного устройства и размещения элементов дорожной среды. Они должны привлекать к себе внимание водителей или пешеходов и влиять тем самым на выбор траектории или направления движения. Такие элементы выбирают и располагают с учетом сложившихся условий движения с целью своевременного информирования водителей и оказания соответствующего воздействия. Примеры доминантных решений представлены на рис. 4.



Рис. 4. Использование памятников и скульптур в виде доминанты на площадях в населенных пунктах в точках разделения транспортных потоков в местах локальной модернизации автомобильных дорог (проект кольцевого пересечения разработан под руководством автора)

Уровень соответствия линейных элементов дороги (прямолинейных, ломаных, криволинейных участков) пространственному характеру придорожной обстановки (здания, озеленение, элементы обустройства в виде остановок общественного транспорта, парковочных полос, ограждений, искусственных препятствий, изменяющих траекторию движения транспортных средств и др.) (О11-1-2с) предлагается оценивать, используя известные типичные визуальные решения для застроенной территории (рис. 5) [9, 10]. Данные решения представлены в виде блок-схемы выбора типа эталонного визуально-ориентирующего воздействия в зависимости от проектной функции, выполняемой дорогой и прилегающим пространством.

Подобные способы используются и для оценки уровня зонирования дорожного и придорожного пространств, которое также может осуществляться с использованием эталонных образных градостроительных элементов, путем изменения поперечного профиля дороги или улицы, использования озеленения, различного цвета и конструкции дорожного покрытия (рис. 6).

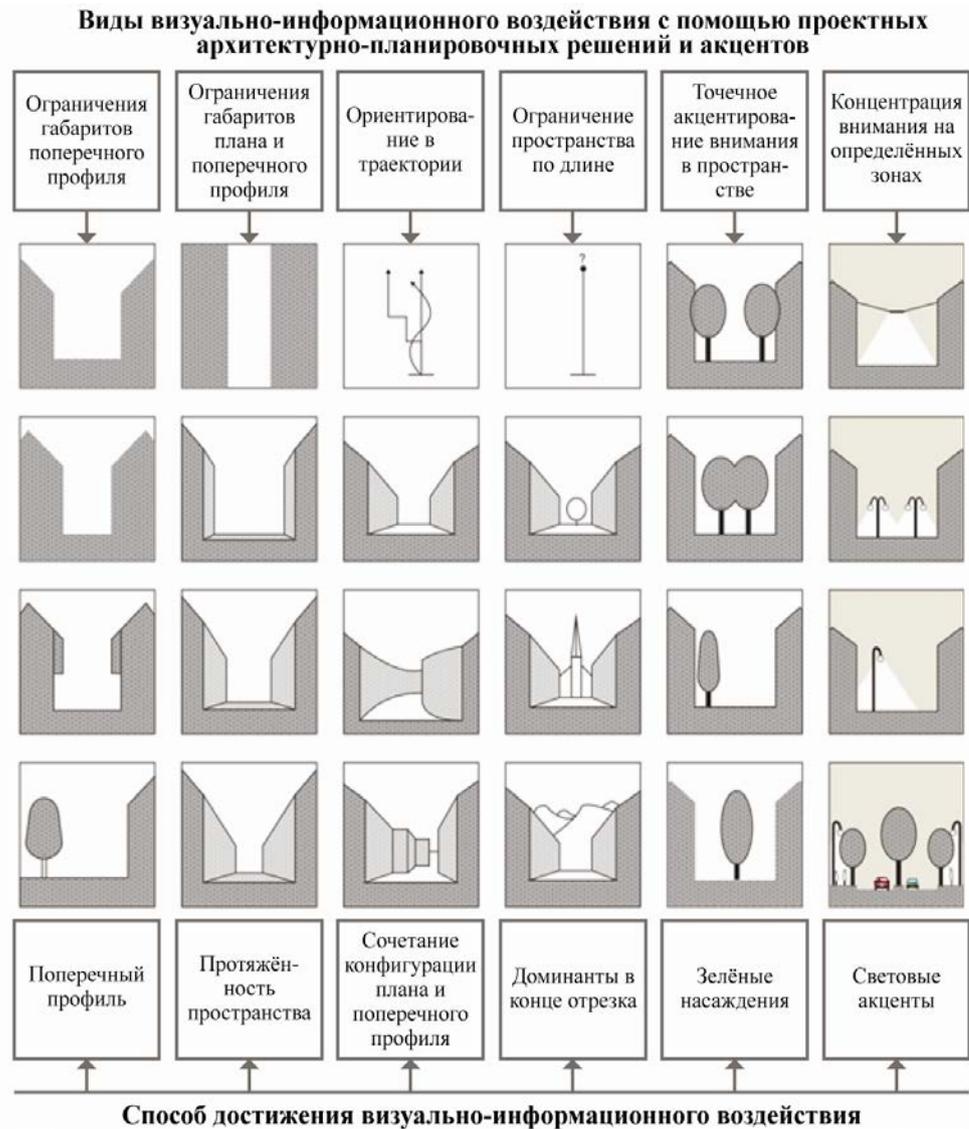


Рис. 5. Блок-схема выбора вида визуально-ориентирующих воздействий в зависимости от проектной функции прилегающего пространства в условиях застройки

Предложенная система индикаторов визуальной информационно-эстетической модели для цифровой дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды позволяет дополнить существующую методику формирования индекса качества городской среды<sup>6</sup> для оценки удобства и безопасности движения в структурообразующей части этой среды, представляющей собой дорожно-транспортную инфраструктуру городской среды.

<sup>6</sup> Методика формирования индекса качества городской среды // Распоряжения Правительства РФ URL: <http://docs.cntd.ru/document/553937399>.

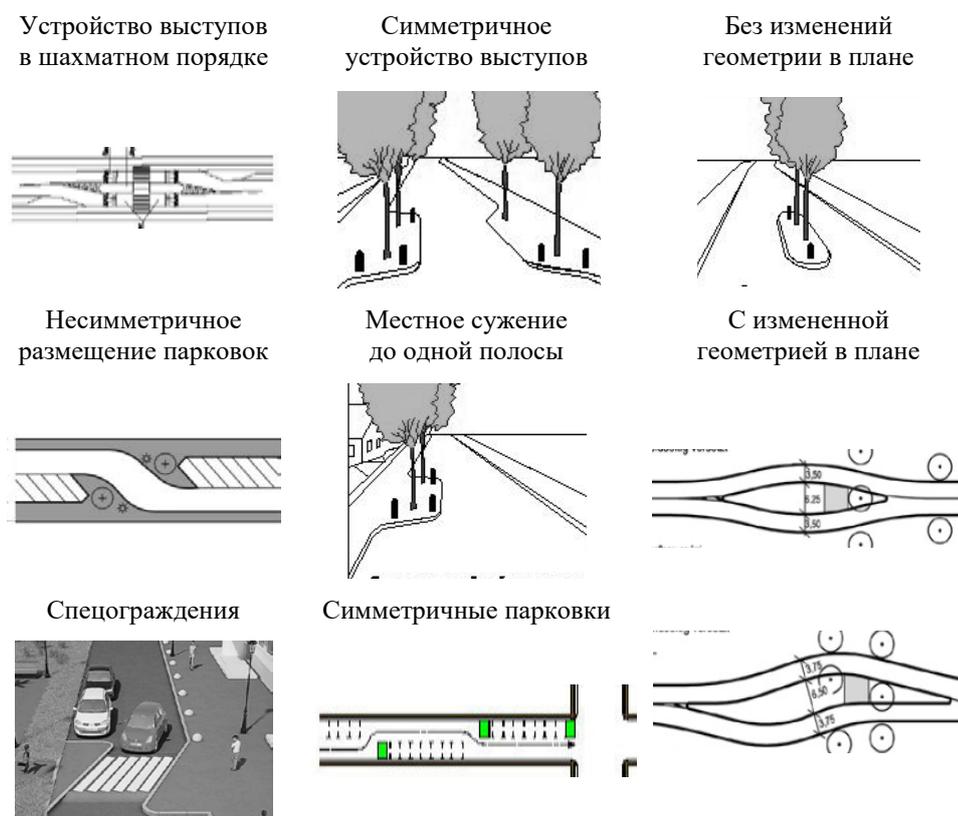


Рис. 6. Зонирование дороги и придорожного пространства путем изменения элементов плана и поперечного профиля

### Выводы:

1. Современные тенденции в области оценки состояния, развития и модернизации городской среды требуют перехода к ее описанию с широким использованием методов цифровизации, что подтверждается научными исследованиями и принятием соответствующих правительственных документов.

2. Важное место в городской среде занимает дорожно-транспортная инфраструктура и создаваемая вдоль нее архитектурно-планировочными и другими методами визуально-информационная среда, обеспечивающая безопасность и удобство для участников дорожного движения, а также работающих и проживающих в придорожной зоне.

3. Разработанная логическая модель систематизирует целевые функции, критериальные и оценочные потребительские свойства визуально-информационной среды на дороге и в придорожной зоне, создаваемой архитектурно-планировочными и другими методами, и устанавливает взаимосвязи между ними.

4. Разработанные показатели потребительских свойств и математические зависимости, описывающие последовательность цифровой оценки состояния визуально-информационной среды, позволяют формировать модели по управлению качеством этой среды на разных ее уровнях.

5. Предложенная система эталонно образных оценочных критериев позволяет учитывать в общей системе оценки визуально-информационной среды объекты потребительских свойств, которые не поддаются простой цифровой оценке.

6. Разработанная база эталонных визуально-образных объектов позволяет формализовать оценку таких объектов. Это дает возможность получить максимально полное цифровое описание визуально-информационной среды улично-дорожной сети и придорожного пространства в населенных пунктах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Блинкин М. Я.* Современные тенденции развития транспортной инфраструктуры городских агломерации // Экономика железных дорог. 2012. № 4.
2. *Бегма И. В., Томаревская Е. С.* Проектирование автомобильной дороги с учетом зрительного восприятия. М.: Автотрансиздат, 1963. 42 с.
3. *Лобанов Е. М.* Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. М.: Транспорт, 1980. 312 с.
4. *Коноплянко Е. М.* Информация в дорожном движении. М.: МАДИ, 1987. С. 65.
5. *Цернант А. А.* Экосистемный подход к инженерно-строительной деятельности (транспортное строительство) // Сборник трудов ЦНИИС. Философия транспортного строительства. № 255. С. 5—28.
6. *Девятков М. М.* Основы теории модернизации сети автомобильных дорог городов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2010. № 4. С. 10—15.
7. *Домке Э. Р.* Управление качеством дорог : учебное пособие. Ростов-на-Дону : Феникс, 2006. 253 с.
8. Разработка рекомендаций по арх. оформлению дорог Волг. области с целью повышению безопасности движения / Руков. М. М. Девятков // Отчет о хозяйственной НИР № гос. регистрации 01870026911 г. Волгоград, 1989. 200 с.
9. *Baier R., Ackva A., Baier M.* Strassen und Plätze neu gestaltet : Beispiele aus der Praxis. 2000.
10. *Девятков М. М.* Принципы формирования информационно-эстетических качеств автомобильных дорог // Архитектура и строительство России. 2008. № 5. С. 22—29.

© *Девятков М. М., Волков В. С., Вилкова И. М., Гагулина О. В., 2020*

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Формирование системы индикаторов визуальной информационно-эстетической модели для цифровой дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды / М. М. Девятков, В. С. Волков, И. М. Вилкова, О. В. Гагулина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 77—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, Волгоград, ул. Академическая, 1, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Волков Владимир Степанович** — доцент кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [n.volkova171@yandex.ru](mailto:n.volkova171@yandex.ru)

**Вилкова Ирина Михайловна** — канд. экон. наук, начальник производственного отдела, ООО «Аспект». Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Огарева, 1-113, [imvilkova@yandex.ru](mailto:imvilkova@yandex.ru)

**Гагулина Ольга Валерьевна** — старший преподаватель кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [o.gagulina@yandex.ru](mailto:o.gagulina@yandex.ru)

**Mikhail M. Devyatov<sup>a</sup>, Vladimir S. Volkov<sup>a</sup>, Irina M. Vilkova<sup>b</sup>, Olga V. Gagulina<sup>a</sup>**

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

<sup>b</sup> *Aspect LLC*

## **FORMATION OF THE SYSTEM OF INDICATORS OF VISUAL INFORMATION AND AESTHETIC MODEL FOR THE DIGITAL ROAD AND TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE CITY ENVIRONMENT**

The article discusses models for the formation of the target and criteria level of the visual informational and aesthetic system of roads and roadside space. Taking into account the trends in the use of digital technologies in urban planning, objective and subjective parameters for assessing the aesthetic consumer properties of the road transport infrastructure of the urban environment are presented.

**Key words:** roads, traffic safety, urban environment, evaluation criteria, information, mathematical model, information-aesthetic field, architecture and landscape design.

### *For citation:*

Devyatov M. M., Volkov V. S., Vilkova I. M., Gagulina O. V. [Formation of the system of indicators of visual information and aesthetic model for the digital road and transport infrastructure of the city environment]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekurno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 77–91.

### *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, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Vladimir S. Volkov** — Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [n.volkova171@yandex.ru](mailto:n.volkova171@yandex.ru)

**Irina M. Vilkova** — Candidate of Engineering Sciences, the Head of the Production and Technical Department, Aspect LLC. 1, Ogareva st., Volgograd, 400074, Russian Federation, [imvilkova@yandex.ru](mailto:imvilkova@yandex.ru)

**Olga V. Gagulina** — Senior Lecturer of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [o.gagulina@yandex.ru](mailto:o.gagulina@yandex.ru)

УДК 711.7-163

**М. М. Девятков, В. С. Волков, О. В. Гагулина, Д. А. Щebetko**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНОГО И ЭСТЕТИЧЕСКОГО ОБЛИКА ДОРОГИ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ КОМФОРТА И БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ**

В статье поднимается проблема недостаточной оснащенности придорожного пространства на территории Волгоградской области. Описаны методики создания эффективного информационного поля на дорогах и в придорожной зоне. Проанализирован ряд необходимых мероприятий по формированию архитектурно-эстетического облика дороги с целью повышения удобства и безопасности движения.

**Ключевые слова:** дороги, придорожная территория, эффективное информационное поле, безопасность движения, эстетика, архитектура и ландшафтный дизайн.

В 2018 году Правительством принята Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018—2024 гг.<sup>1</sup> Необходимость ее принятия связана с тем, что дорожно-транспортные происшествия (ДТП) наносят экономике России и обществу в целом колоссальный социальный, материальный и демографический ущерб. Ежегодные экономические потери страны от дорожно-транспортных происшествий составляют около 2 процентов валового внутреннего продукта. С 2007 по 2016 год в дорожно-транспортных происшествиях на дорогах России погибло 271 тыс. человек, 2,5 млн человек были ранены.

Целями Стратегии являются повышение безопасности дорожного движения, а также стремление к нулевой смертности в дорожно-транспортных происшествиях к 2030 г. В качестве целевого ориентира на 2024 г. устанавливается показатель социального риска, составляющий не более 4 погибших на 100 тыс. населения<sup>2</sup>.

Для достижения этих целей сформулирован ряд направлений и задач. Среди них отмечается необходимость изменения поведения участников дорожного движения с целью безусловного соблюдения норм и правил дорожного движения. При этом отмечается необходимость разработки и реализации программ по формированию стереотипов безопасного поведения на улицах и дорогах, совершенствование практики проведения информационно-разъяснительной работы с целью изменения поведения участников дорожного движения. Для этого необходимо совершенствование дорожных условий и дорожной инфраструктуры в части повышения безопасности дорожного движения за счет малозатратных, но эффективных мероприятий. К таким мероприятиям, безусловно, относятся мероприятия по созданию эффективного

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2018 N 1-р «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018—2024 годы». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_288413/df7700fdc6ec2d37938dd5435543e61ffe84440/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_288413/df7700fdc6ec2d37938dd5435543e61ffe84440/).

<sup>2</sup> Там же.

информационного поля на автомобильной дороге и в придорожной зоне с использованием методов формирования архитектурно-эстетического облика дороги для повышения удобства и безопасности движения.

Под эффективным информационным полем на автомобильной дороге и в придорожной зоне предлагается понимать информационное поле, сформированное на основе определения целевых установок, методов и способов их достижения, системы объективных критериев их оценки, направленных на достижение высокого уровня удобства и безопасности дорожного движения. При этом сами воздействия исходят от обоснованно выбранных и расположенных элементов дороги и придорожной среды.

Российскому опыту организации данных мероприятий уделяется внимание в трудах таких отечественных авторов, как М. М. Девятков [1—4], В. Ф. Бабков [5, 6], И. В. Бегма [7], А. К. Виноградский [8], Д. Р. Горбак [9] и др. Также представляет интерес зарубежная практика, отмеченная в работах иностранных авторов [10—12].

Проанализируем основные целевые установки при создании информационного поля на автомобильной дороге и в придорожной зоне, сформулированные в работах вышеперечисленных авторов.

Информация имеет большое значение при выборе основного направления (маршрута) движения для водителей на протяженных маршрутах, а также в незнакомых населенных пунктах. Как показывают исследования [13, 14], перепробег автомобилей, вызванный ошибками водителей при выборе направления движения, составляет 4...6 % общего пробега автомобилей.

Несовершенство, недостаточность или избыток информации приводит к конфликтным ситуациям, повышению вероятности ДТП, что подтверждается многими исследованиями и статистическими данными. Анализ ДТП по вине водителей показывает следующее:

- около 1 % ДТП происходит в результате нарушения требований сигналов светофоров, дорожных знаков, указателей разметки;
- около 12 % ДТП происходит в результате невнимательности водителей, которая, в свою очередь, является следствием в определенной степени несовершенства источников информации.

В то же время проведенные исследования<sup>3</sup> [1, 7—13] показывают, что правильное использование средств организации движения путем информационного воздействия на водителей может существенно влиять на его поведение. Все приведенные факторы говорят о большой возможности и важности визуального воздействия, связанного с необходимостью обеспечения достаточным объемом информации для безопасного движения, путем выбора рационального маршрута, оптимальной эмоциональной загрузки водителей, их плавным ведением по дороге, своевременным ориентированием водителей и пешеходов.

Вместе с тем до настоящего времени в нормативных документах и в исследованиях отсутствует системно-целевой подход к всесторонней оценке возможного разнообразного воздействия на всех пользователей придорожного пространства, хотя возможности такие есть, о чем описывалось неоднократно в работах автора [1—3] и других исследователей [5—7, 9, 14].

<sup>3</sup> ВСН 18—84. Указания по архитектурно-ландшафтному проектированию автомобильных дорог // Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт, 1985. С. 47.

Такой подход в настоящее время особенно важен с учетом растущей многообразной роли дорог в жизни общества. При конкретизации их роли, в зависимости от разнообразия функций прилегающих к дороге территорий, можно выделить транспортную роль и роль дорог как мест общественного пользования.

Безусловно, в первую очередь важно определить систему способов формирования воздействия непосредственно на участников движения (рис. 1). Визуальное воздействие является частью единого информационного воздействия на участников дорожного движения. При этом, рассматривая цели информации в дорожном движении, большинство авторов выделяют в качестве основной цели *обеспечение эффективности и безопасности движения*. Причем рассматриваются как дорожные, так и внедорожные (радио, телевидение, пресса, учебники и т. д.) источники информации, а также источники информации на рабочем месте водителя (визуальная и звуковая информация от различных датчиков и систем в кабине водителя) [10, 11, 13, 14]. В настоящем исследовании мы касаемся только той информации, которую получают участники движения непосредственно через систему мероприятий с использованием методов формирования архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги.

Проведенные исследования, анализ и наблюдения, выполненные на ряде дорог [1—4], позволяют говорить о том, что воздействие на участников дорожного движения и других пользователей должно носить широкое и не просто информационное, а целевое визуально-ориентирующее, информационно-эстетическое и эмоциональное воздействие.

Таким образом, сформулируем **целевые установки** информационно-эстетической системы (ИЭС) способов воздействия на участников дорожного движения:

- *Визуально-информационное воздействие* на участников движения (и других пользователей), которое заключается в передаче информации для водителя об условиях движения, предоставлении пользователям придорожного пространства необходимой информации, информировании пассажиров о расписании движения общественного транспорта и др.
- *Визуально-ориентирующее воздействие*, представляющее собой воздействие через определенную конфигурацию пространства, окружающего автомобильную дорогу, и других способов (разметка, знаки, элементы обустройства), и вызывающее у водителя ощущение необходимости вполне определенного поведения в виде конкретных действий в процессе перемещения в дорожном пространстве.
- *Мировоззренческое воздействие* через придание своеобразия придорожной зоне.
- *Мировоззренческое воздействие* через создание привлекательного и красивого образа дороги и придорожной зоны.
- *Эмоционально-подсознательное воздействие* через создание высокоэффективной рекламы безопасности дорожного движения, имеющей подсознательное воздействие на поведение водителей и размещаемой в местах повышенной опасности.

Это воздействие должно быть направлено в первую очередь на создание и обеспечение безопасного коридора движения и отдыха путем формирова-

ния у всех пользователей дороги и придорожной зоны определенного мировоззрения и формируемого на его основе поведения водителей, а также создания комфортной среды обитания. Это может достигаться и оцениваться через систему определенных воздействий на человека, которые могут носить преднамеренный и непреднамеренный характер.

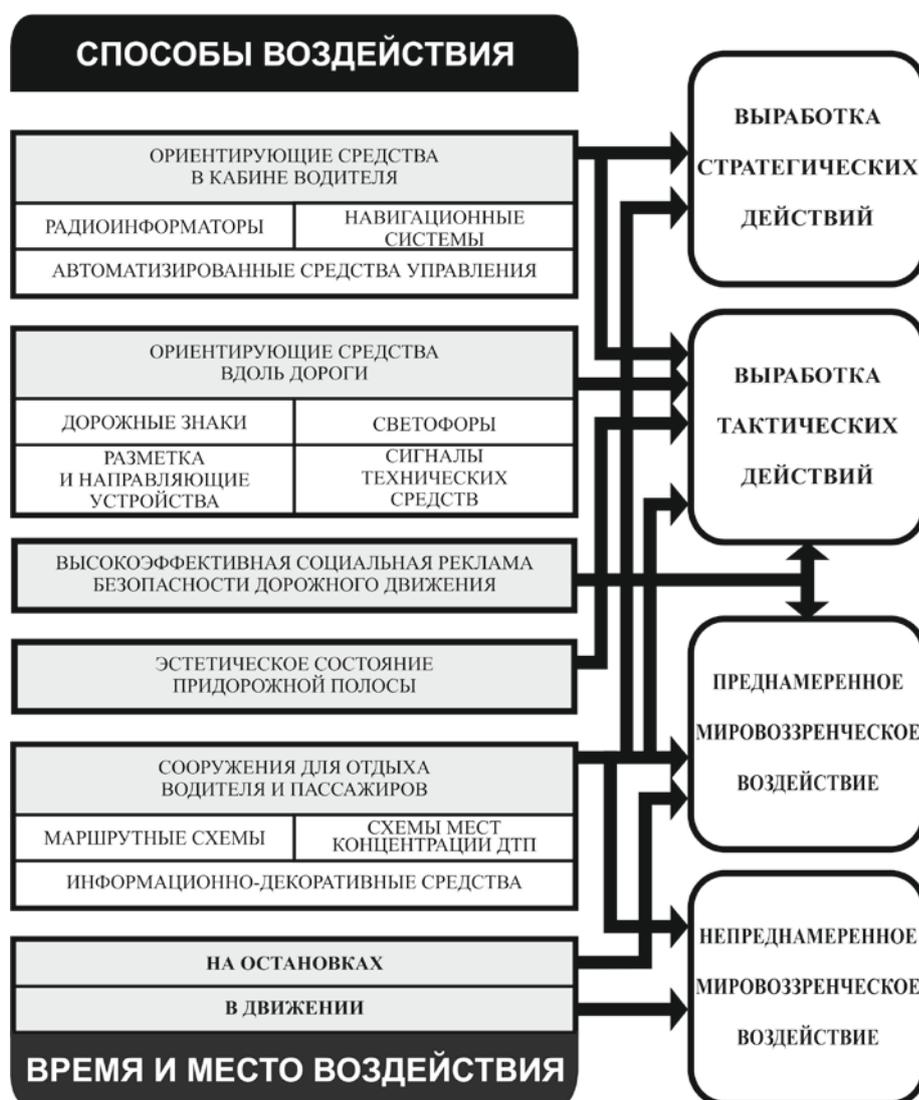


Рис. 1. Система способов формирования воздействия на участников дорожного движения

Для выработки мероприятий, направленных на достижение целевых установок и оценки эффективности воздействий от них, с помощью экспертов сформирован критериальный уровень системы информационно-эстетических потребительских свойств (ПС). На этом уровне установлены критерии, дающие возможность конкретизировать воздействия и оценить достижимость целевых установок, сформулированных на предыдущем уровне.

Таким образом, сформирована система целевых и критериальных показателей системы информационно-эстетических потребительских свойств дорог и придорожного пространства (рис. 2).

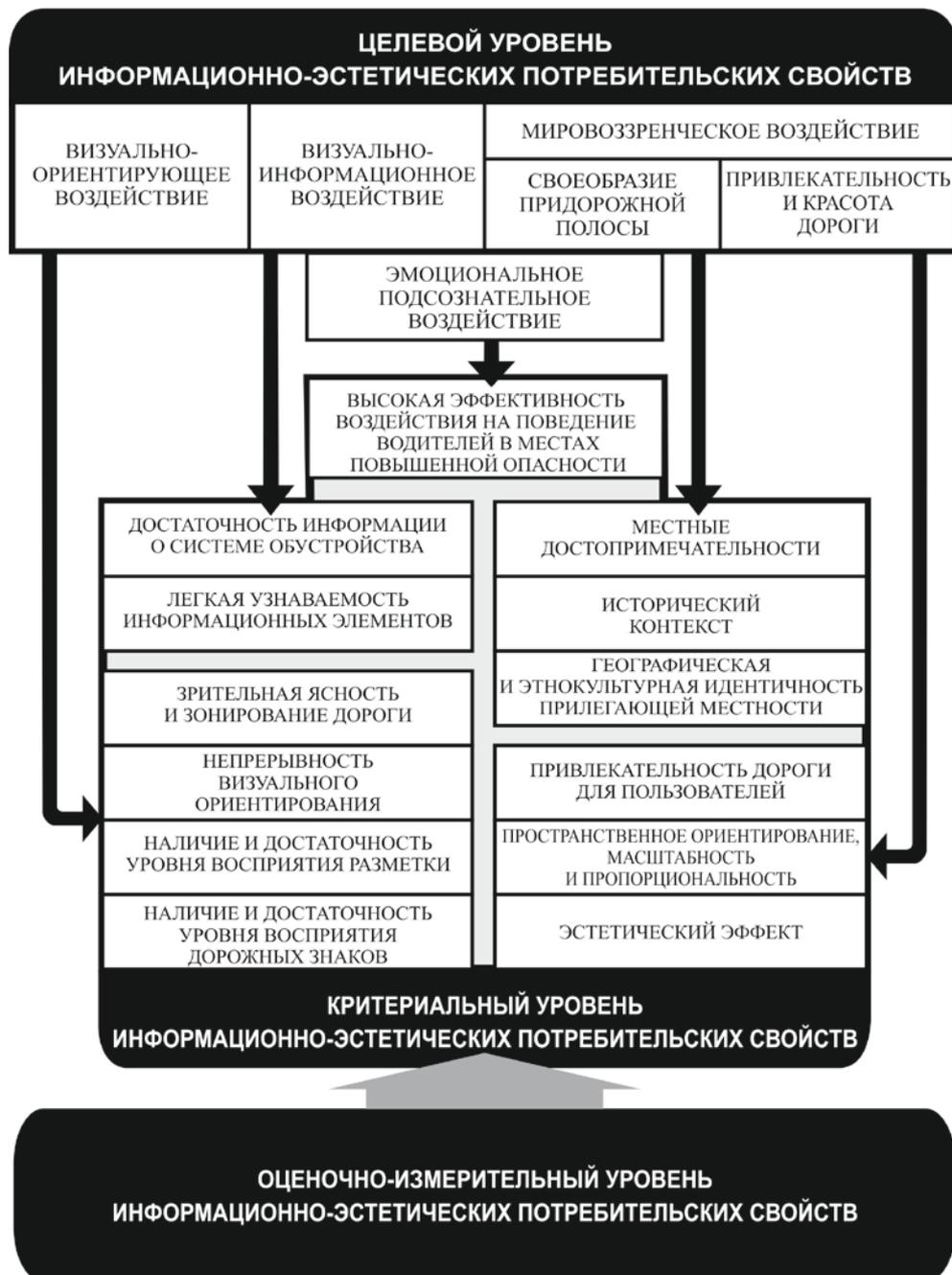


Рис. 2. Логическая модель формирования целевого и критериального уровня системы информационно-эстетических потребительских свойств автомобильных дорог и придорожного пространства

Эта система принята за основу методики оценки существующего и формирования нового современного архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги для повышения, удобства и безопасности движения, которая заключается в следующем:

**1 этап — оценка существующего архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги и аудит ее безопасности:**

- первоначальный общий проезд по дороге, в ходе которого намечаются места по обследованию интенсивности и состава движения, состояния элементов обустройства и архитектурного оформления, режимов движения в зоне объектов обустройства и архитектурного оформления;

- разработка общей характеристики дороги в районе ее местоположения, включающей в себя: а) характеристику природно-климатических условий, растительности, животного мира; б) историческую справку о возникновении, развитии и роли дороги; сведения о событиях, исторических и памятных местах вдоль дороги и связанных с ней; в) другие дополнительные сведения о дороге, районах, прилегающих к ней, которые могут быть использованы при архитектурно-эстетическом оформлении дороги;

- выявление мест, где целесообразно и возможно создание новых доминант или разграничений, размещение видовых площадок и площадок отдыха, декорирование некрасивых мест или пейзажей, отвлекающих водителей, размещение озеленения, сооружений обслуживания движения;

- сбор сведений об интенсивности и составе транспортных потоков на дороге с выделением сведений об общественном транспорте;

- оценка состояния безопасности дорожного движения, включающая в себя картограмму дорожно-транспортных происшествий (ДТП) за 3—5 лет; общий анализ ДТП на дороге, в зоне элементов обустройства и архитектурного оформления; выделение видов и мест происшествий, которые могут быть предотвращены с использованием элементов обустройства, архитектурного оформления, включая высокоэффективную социальную рекламу;

- исследование режимов движения и психофизиологических показателей водителей при движении по дороге с целью определения характера влияния существующих элементов на режимы и безопасность движения; выявления мест с повышенной и пониженной эмоциональной напряженностью работы водителя.

**2 этап — камеральная обработка и обобщение материалов обследования дороги:**

- составление общей схемы существующей дороги с описанием объектов архитектурно-ландшафтного и эстетического оформления дороги, их функционального и эксплуатационного состояния;

- по существующей методике<sup>4</sup> производится оценка обеспеченности автомобильной дороги местами обслуживания и кратковременного отдыха;

- составление линейного архитектурного графика с выделением архитектурных бассейнов;

- обоснование основного архитектурно-эстетического мотива дороги.

<sup>4</sup> О требованиях к обеспеченности автомобильных дорог общего пользования объектами дорожного сервиса, размещаемыми в границах полос отвода. (В редакции постановлений Правительства Российской Федерации) от 29.05.2013 г. № 451 ; от 27.08.2015 г. № 890.

### **3 этап — разработка проектных решений:**

- составление общей рекомендуемой схемы обустройства автомобильной дороги;
- разработка состава и эскизов архитектурно-информационных элементов обустройства (путевых, в местах отдыха, на остановках и т. п.).

При этом представляется целесообразным обратить внимание на ряд положений.

Во-первых, одновременное зрительное восприятие всей дороги невозможно, учитывая, что длина дороги почти всегда неопределенно велика по сравнению с шириной. В связи с этим образ дороги складывается из суммы отдельных впечатлений, которые возникают в процессе поездки. Поэтому может быть сформирован целостный или разнородный многоплановый вид формирования процесса восприятия дороги.

Во-вторых, выбор вида формирования процесса восприятия зависит от заданной целевой функции, формируемой в соответствии с предложенной логической моделью (рис. 2). При этом создание на дороге или ее отдельных частях архитектурно-оправданных композиций должно базироваться на разбивке дороги на отдельные участки, архитектурно-замкнутые пространства — **архитектурные бассейны**.

В-третьих, выбираемая целевая функция или характер воздействия на водителей и участников движения определяется по результатам анализа статистики аварийности, аудита безопасности и удобства движения. С учетом этого анализа определяется и характер мировоззренческого воздействия. На основе обобщения этих разносторонних видов анализа формируется архитектурный мотив дороги (при формировании ее целостного восприятия) или отдельных архитектурных бассейнов дороги (разнородное многоплановое восприятие).

При этом под **архитектурным мотивом** дороги или отдельного архитектурного бассейна авторы предлагают понимать основное содержание художественных образов, используемых как в конфигурации, так и в содержательной части элементов обустройства и архитектурного оформления, характерного для всей дороги в целом или ее отрезков.

В-четвертых, непрерывность визуального ориентирования в определенном направлении движения для водителей или пешеходов достигаются в результате того, что они имеют постоянно перед глазами на дороге те или иные ориентиры, позволяющие однозначно определять свое местоположение. В качестве таких ориентиров, помимо общепринятой символической информации, которая усваивается лучше и быстрее, чем чтение надписей, целесообразно использовать цветные указатели и цветовое кодирование направлений дороги с помощью пластин, стороны которых окрашены в различные цвета, такие знаки могут усваиваться быстрее символических. С этой же целью могут использоваться определенные архитектурные элементы, малые архитектурные формы, имеющие запоминающийся характер и служащие ориентиром направления дороги или ее фирменным знаком.

Таким образом, продуманное, системное сочетание и учет перечисленных критериев и факторов позволит обеспечить безопасное и комфортное передвижение по автомобильным дорогам в усложняющихся современных условиях.

В качестве примера использования предложенной методики представим систему информационно-эстетического оформления участка автомобильной дороги Р-228 — Сызрань — Саратов — Волгоград, расположенный в границах Волгоградской области.

На основе обследования автомобильной дороги проведена ее разбивка на архитектурно-ландшафтные бассейны, характеризующиеся единством ландшафтных признаков. При этом учитывалось, что границами архитектурного бассейна могут быть: переломы рельефа, ограничивающие видимость; границы разных ландшафтов, совпадающие с границами населенных пунктов, большими мостовыми переходами, лесными опушками. Архитектурный бассейн должен просматриваться до его границ и преодолеваться транспортным потоком не более чем за 10 минут. За счет этого снижается монотонность движения.

Каждый архитектурный бассейн выделяется с учетом особенностей расположенного на нем ландшафтного потенциала для определения наиболее выгодных мест для досуга, отдыха стоянки и т. п., особенности рельефа (ландшафта бассейнов) учитываются при проектировании архитектурного наполнения, что позволит предусмотреть новые архитектурно-информационные элементы, гармонично вписывающиеся в окружающий ландшафт.

С учетом этого подхода рассматриваемая дорога разделена на четыре характерных участка по ландшафтному потенциалу местности (рис. 3):

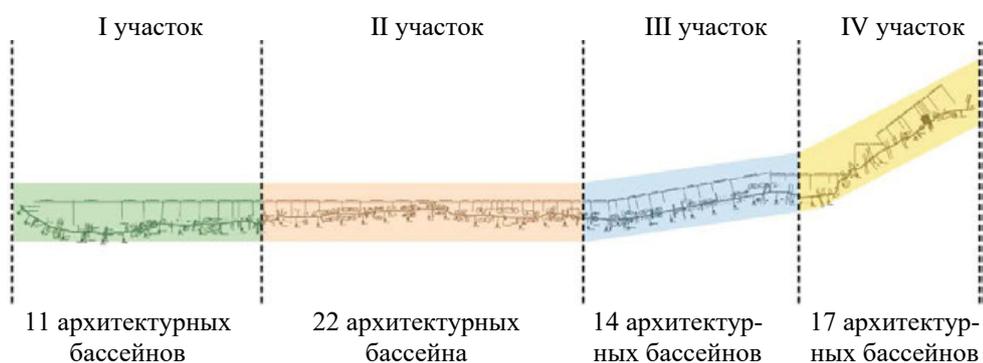


Рис. 3. Схема зонирования участка автомобильной дороги Р-228 — Сызрань — Саратов — Волгоград, расположенного в границах Волгоградской области, по ландшафтному потенциалу местности и архитектурно-ландшафтным бассейнам

**1-й участок** относится к лесостепной зоне, имеющей равнинный рельеф и неглубокие овраги. Он не имеет явно выраженных рельефных и природных доминант. Его протяженность составляет 58 км. На нем выделено 11 архитектурных бассейнов.

**2-й участок** относится к лесостепной зоне с холмистым рельефом. Он обладает большим потенциалом видовых точек с перепадами высот рельефа, явно выраженными холмами и естественными водными бассейнами, характерными доминантами. Его протяженность составляет 72 км. На участке выделено 22 архитектурных бассейна.

**3-й участок** относится к лесостепной зоне с равнинным характером рельефа. Здесь дорога защищена от воздушных потоков лесополосами, расположенными вдоль автотрассы. Данный участок не обладает особыми визуально-пейзажными качествами. Его протяженность составляет 51 км. На участке выделено 14 архитектурных бассейнов.

**4-й участок** относится к лесостепной зоне с холмистым характером рельефа. Этот участок располагает высоким природным потенциалом, способным удовлетворить эстетические потребности проезжающих. Для этого участка характерно наличие водных заливов и обзорных смотровых площадок с видом на реку Волга. Его протяженность составляет 44 км. На участке выделено 17 архитектурных бассейнов.

Проведенный анализ существующих объектов придорожного сервиса на данном участке автомобильной дороги позволил систематизировать их местоположение и оценить функциональные и эстетические свойства, описанные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Местоположение, функциональные и эстетические свойства существующих объектов придорожного сервиса участка автомобильной дороги Р-228 — Сызрань — Саратов — Волгоград, расположенного в границах Волгоградской области*

№	Наименование	Местоположение (номер архитектурного бассейна (АБ) и километр (км))	Состав	Описание функциональных и эстетических свойств существующих объектов придорожного сервиса
1	Архитектурный знак «Волгоградская область»	1 АБ 437 км	—	<b>Функция:</b> въездной знак несет в себе мало смысловой нагрузки и не отражает особенности и богатое историческое прошлое Волгоградской области. <b>Эстетика:</b> представленный размер въездного знака не позиционирует его как основной. Масштабность не совпадает со статусом. Композиция не уравновешена
2	Остановочные павильоны	1 АБ (448) 2 АБ (461) 6 АБ (487) 13 АБ (511) 16 АБ (521) 18 АБ (532) 27 АБ (563) 32 АБ (576) 41 АБ (605) 43 АБ (612) 52 АБ (649)	—	<b>Функция:</b> не отвечают требованиям безопасности, т. к. имеются слепые зоны. Используемые материалы не позволяют полностью эксплуатировать павильоны в разные времена года. <b>Эстетика:</b> полуразрушенный внешний вид негативно сказывается на общем впечатлении от маршрута. Остановочные павильоны не подчинены общей концепции, имеют небрежный внешний вид
3	Площадка отдыха «Камышин»	12 АБ 508 км	Автостоянка, гостиница, кафе, торговля, туалет, СТО	<b>Функция:</b> линейное расположение невязанных мест общественного питания, отсутствие выраженных зон отдыха, выделенных мест остановок, стоянок,

№	Наименование	Местоположение (номер архитектурного бассейна (АБ) и километр (км))	Состав	Описание функциональных и эстетических свойств существующих объектов придорожного сервиса
				нерациональное использование территории оставляет общее негативное впечатление. <b>Эстетика:</b> торговые объекты требуют обновления, нет единой концепции, объединяющей площадку отдыха. Неэстетичный внешний вид площадки в целом
4	Площадка отдыха «Горный Балыклей»	33АБ 579 км	Гостиница, кафе, пост ДПС	<b>Функция:</b> потенциал местности не использован при наличии залива с возможностью обустройства пляжных мест, зон отдыха остановка оборудована только местами общественного питания и motelом. Не организована парковка с качественным покрытием. <b>Эстетика:</b> здания зоны отдыха требуют капитального ремонта. С точки зрения эстетики они выглядят непривлекательно, негативно влияя на восприятие местности
5	Площадка отдыха «У пруда»	44АБ 613 км	Гостиница, кафе, торговля, душ, туалет, СТО	<b>Функция:</b> потенциал остановки раскрыт не полностью, при наличии вблизи пруда отсутствуют оборудованные места отдыха, что негативно сказывается на привлекательности объекта. <b>Эстетика:</b> зона отдыха выглядит непривлекательно. Акцент сделан на архитектуре объекта, что в виду наличия особенностей ландшафта ошибочно

Информация, представленная в табл. 1, позволяет сделать вывод о том, что объекты благоустройства и архитектурно-ландшафтного оформления на данном участке автомобильной дороги не отвечают современным требованиям и запросам пользователей по их функциональному и эстетическому назначению. Выбор их местоположения, характер планировочных решений, набор и качество объектов обслуживания и предоставляемых в их перечне услуг для участников движения характеризуются бессистемностью и нерациональностью использования территории, оставляя общее негативное впечатление. Отдельно следует обратить внимание на слабое использование природно-ландшафтного потенциала, связанного с характерным линейным расположением дороги на значительном ее протяжении вдоль реки Волги.

Отдельное внимание необходимо обратить на неудовлетворительное обеспечение вопросов безопасности дорожного движения, связанных с организацией въездов и выездов на целом ряде объектов сервиса, а также на формирование их внутренних, обоснованных с точки зрения безопасности дорожного движения планировочных решений.

В разработанном проекте для рассматриваемого участка дороги была сформулирована концепция единства, простоты, узнаваемости, учитывающая логическую модель формирования целевого и критериального уровня системы информационно-эстетических потребительских свойств автомобильных дорог и придорожного пространства, представленная на рис. 2.

При этом в качестве основной сюжетной линии принята патриотическая тема, характерная для территории Волгоградской — Сталинградской области, имеющей историческую мировую известность. Она формируется с помощью въездных знаков на территорию области и города (рис. 4) и дублируется в логотипах, используемых на объектах сервиса на всем протяжении дороги.



Рис. 4. Доминантные элементы, обозначающие военно-патриотическую направленность основной сюжетной линии в формировании системы информационно-эстетических потребительских свойств участка автомобильной дороги Сызрань — Саратов — Волгоград

Единство стиля рассматриваемого участка дороги формируется за счет сочетания запоминающихся форм элементов благоустройства и применяемых для их обозначения логотипов с характерной конфигурацией. В качестве примера можно привести остановочные павильоны, обладающие единой объемно-планировочной пластикой и учитывающие климатическую сезонность территории Волгоградской области. Все объекты имеют характерную округлую конфигурацию зоны для символической информации (рис. 5).



Рис. 5. Остановочные павильоны запоминающейся формы, учитывающие климатическую сезонность территории Волгоградской области, имеющие характерную округлую конфигурацию зоны для символической информации

Единство стиля поддерживается визуально-ориентирующими элементами, имеющими характерный, запоминающийся контур, при этом имеется возможность использования различной цветовой гаммы или символических изображе-

ний, применяемых для обозначения местоположения наиболее значимых объектов. Данные изображения подчеркивают историко-патриотическое, природное, культовое, этнографическое значение прилегающей территории (рис. 6).

Рис. 6. Пример визуально-ориентирующих элементов, имеющих характерный, запоминающийся контур, с возможностью использования различной цветовой гаммы или символических изображений



В системе благоустройства важное место отведено также формированию полноценных зон отдыха, обеспечивающих полный комплекс высококачественных услуг проезжающим, с безопасными въездами на территорию. Также на некоторых участках возможна организация совмещенных остановочных пунктов для различных видов транспорта. К примеру, на объектах, имеющих непосредственный доступ к прибрежной территории рек, имеется возможность организации причалов для водного транспорта (рис. 7). Тем самым подобные остановочные пункты будут функционировать не только как объекты придорожного сервиса, но и как многофункциональные транспортные узлы, что может способствовать модернизации и развитию сложившейся транспортной системы Волгоградской области.



Рис. 7. Эскизный проект площадки отдыха с причалом

Помимо архитектурно-планировочных мероприятий по повышению эффективности использования дорожно-транспортной системы, как уже было отмечено ранее, особая роль отводится практикам по обеспечению безопасности движения на дорогах области.

Учитывая поставленную Правительством РФ цель максимального снижения тяжести последствий ДТП, следует отдельное внимание уделять участкам дорог с характерными дорожно-транспортными происшествиями. Так, анализ аварийности участка дороги ССВ позволил выявить отдельные участки дорог повышенной опасности с характерными причинами ДТП (рис. 8). Можно выделить три ключевых фактора риска: превышение скорости, выезд на встречную полосу, неиспользование ремней безопасности. Поэтому на подходах к выявленным местам ДТП с характерными причинами происшествий предлагается использование высокоэффективной социальной рекламы, образно и текстуально направленной на характерный для данного участка фактор аварийности.



Рис. 8. Карта-схема мест сосредоточения ДТП на отдельных дорогах республиканского значения

### Выводы:

1. Предложено понятие **эффективного информационного поля** на автомобильной дороге и в придорожной зоне, которое рассматривается как система информационных воздействий, сформированных на основе определения целевых установок, методов и способов их достижения, а также как система объективных критериев их оценки, направленных на достижение высокого уровня удобства и безопасности дорожного движения. При этом сами воздействия исходят от обоснованно выбранных и расположенных элементов дороги и придорожной среды.

2. Предложенная логическая модель формирования информационно-эстетического воздействия позволяет систематизировать процесс оценки и модернизации визуально-ориентирующего и информационно-эстетического, мировоззренческого информационного поля в придорожном пространстве,

ориентируя его на повышение безопасности движения путем включения элементов, подчеркивающих любовь к семье, детям, жизни и формирующих чувство патриотизма, способствующих сохранению исторической памяти.

3. С учетом предложенной модели проведено зонирование автомобильной дороги Сызрань — Саратов — Волгоград на участке, проходящем по территории Волгоградской области с целью оптимизации дозирования целевого воздействия информационного потока, учитывая сложившееся обустройство дороги. Разработаны предложения по созданию систематизированного ряда элементов воздействия, подчеркивающих историческое и военно-патриотическое значение территории проложения дороги.

4. Предложенный подход позволяет системно оценивать и разрабатывать мероприятия по модернизации и развитию информационно-эстетического и визуально-ориентирующего поля в придорожной зоне с учетом природных, ландшафтных, исторических, этнографических и других особенностей территории проложения дороги с целью обеспечения целевого воздействия на участников дорожного движения.

5. Характер (содержание) целевого воздействия определяется на основе экспертного обследования дорожных условий и состояния информационно-эстетического и визуально-ориентирующего поля в придорожной зоне с использованием методов аудита безопасности дорожного движения.

6. В составе мероприятий по БДД на участке автодороги ССВ предложена модернизация существующих и устройство новых современных площадок отдыха, привлекающих большее число водителей и пассажиров для отдыха на них, что позволит сократить число ДТП из-за усталости на дороге, которая отличается повышенной опасностью из-за своего продольного профиля. Этому будут способствовать применение обоснованных архитектурно-ландшафтных решений и повышение уровня информационной обеспеченности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система визуального воздействия на участников дорожного движения / М. М. Девятов, О. В. Кузьмина, Д. Ю. Чумаков, М. В. Чернецов // Дорожно-транспортный комплекс, экономика, экология, строительство и архитектура : материалы Международной научно-практической конференции, 21—23 мая 2003 года. Омск : СибАДИ, 2003. Книга 1. С. 136—138.
2. Учет методов визуального воздействия на участников движения при модернизации автомобильных дорог / М. М. Девятов, О. В. Кузьмина, М. В. Чернецов, Д. Ю. Чумаков // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. Вып. 4(13). № 4. 2004. С. 63
3. Девятов М. М. Принципы формирования информационно-эстетических качеств автомобильных дорог // Архитектура и строительство России. 2008. № 5. С. 22—29.
4. Разработка рекомендаций по архитектурному оформлению дорог Волгоградской области с целью повышения безопасности движения / Рук. М. М. Девятов // Отчет о хозяйственной НИР. № гос. регистрации 01870026911. Волгоград, 1989, 200 с.
5. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. М. : Транспорт, 1993. 271 с.
6. Бабков В. Ф. Проблемы безопасности дорожного движения // Проектирование автомобильных дорог и безопасность движения : сб. науч. тр. М. : МАДИ, 1990. С. 4—11.
7. Бегма И. В., Томаревская Е. С. Проектирование автомобильной дороги с учетом зрительного восприятия. М. : Автотрансиздат, 1963. 42 с.
8. Виноградский А. К. Дорожно-ландшафтное районирование для проектирования автомобильных дорог. М. : МАДИ, 1976. Вып. 99. С. 60—75.
9. Горбак Д. Р. Архитектурно ландшафтное проектирование автомобильных дорог // Автомобильные дороги. М., 1980. № 8.

10. *Weise G., Durch W.* Strassenbau: Planung und Entwurf. Berlin : Verl. fuer Bauwesen, 1997. 436 p.
11. *Prinz D.* Gestaltung von Strassen und Strassenräumen. Städtebau, Band 2, Städtebauliches Gestalten. Kohlhammer // Architektur. 6. Aufgabe, 1997.
12. *Baier R., Ackva A., Baier M.* Strassen und Plätze neu gestaltet : Beispiele aus der Praxis // Druckerei J. P. Bachem GmbH, Köln. August, 2000.
13. *Коноплянко Е. М.* Информация в дорожном движении. М. : МАДИ, 1987. С. 65.
14. *Лобанов Е. М.* Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. М. : Транспорт, 1980. 312 с.

© *Девятков М. М., Волков В. С., Гагулина О. В., Щebetko Д. А., 2020*

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Методика формирования архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги в целях повышения комфорта и безопасности движения / М. М. Девятков, В. С. Волков, О. В. Гагулина, Д. А. Щebetko // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 92—107.

*Об авторах:*

**Девятков Михаил Михайлович** — канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [ipts\\_vgasu@mail.ru](mailto:ipts_vgasu@mail.ru)

**Волков Владимир Степанович** — доцент кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [n.volkova171@yandex.ru](mailto:n.volkova171@yandex.ru)

**Гагулина Ольга Валерьевна** — старший преподаватель кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [o.gagulina@yandex.ru](mailto:o.gagulina@yandex.ru)

**Щebetko Дарья Андреевна** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [shchebdas@yandex.ru](mailto:shchebdas@yandex.ru)

***Mikhail M. Devyatov, Vladimir S. Volkov, Olga V. Gagulina, Dar'ya A. Shchebetko***

***Volgograd State Technical University***

## **METHODOLOGY FOR FORMING ARCHITECTURAL-LANDSCAPE AND AESTHETIC APPEARANCE OF THE ROAD TO INCREASE THE CONVENIENCE AND SAFETY OF MOTION**

The article raises the problem of insufficiently equipped roadside space in the Volgograd region. The methods of creating an effective information field on roads and in the roadside zone are described. A number of necessary measures for the formation of the architectural and aesthetic appearance of the road with the aim of improving the convenience and safety of traffic are analyzed.

**Key words:** roads, roadside territory, effective information field, traffic safety, aesthetics, architecture and landscape design.

*For citation:*

Devyatov M. M., Volkov V. S., Gagulina O. V., Shchebetko D. A. [Methodology for forming architectural-landscape and aesthetic appearance of the road to increase the convenience and safety of motion]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 92—107.

*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, [ipts\\_vgasu@mail.ru](mailto:ipts_vgasu@mail.ru)

**Vladimir S. Volkov** — Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [n.volkova171@yandex.ru](mailto:n.volkova171@yandex.ru)

**Ol'ga V. Gagulina** — Senior Lecturer of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [o.gagulina@yandex.ru](mailto:o.gagulina@yandex.ru)

**Dar'ya A. Shchebetko** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [shcheb-das@yandex.ru](mailto:shcheb-das@yandex.ru)

УДК 656(470.45)

**Н. В. Корстелева, В. А. Басов**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДА)**

В представленной статье рассмотрены основные виды транспортно-пересадочных узлов и их возможное влияние на транспортную ситуацию в крупных городах. Авторы проанализировали транспортные проблемы крупных городов на примере г. Волгограда и рассмотрели перспективы организации транспортно-пересадочного узла в южной части города.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** транспортно-пересадочный узел, улично-дорожная сеть, пропускная способность, транспортная инфраструктура.

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации транспортно-пересадочный узел (ТПУ) — это комплекс объектов недвижимого имущества, включающий в себя земельный участок либо несколько земельных участков с расположенными на них, над или под ними объектами транспортной инфраструктуры, а также другими объектами, предназначенными для обеспечения безопасного и комфортного обслуживания пассажиров в местах их пересадок с одного вида транспорта на другой.

Приоритетной задачей при формировании транспортно-пересадочных узлов является сокращение затрат времени населения на передвижения в условиях обеспечения безопасности движения пешеходов и транспортных средств, обеспечения высокого уровня комфорта пешеходного движения [1—4]. Формирование транспортно-пересадочных узлов, организация их функционирования, размещение объектов застройки на прилегающих территориях должны быть подчинены решению вышеуказанной задачи.

Для того чтобы определить влияние ТПУ на транспортную ситуацию в городах, необходимо рассмотреть существующие на сегодняшний день виды данных объектов, их основное назначение, преимущества и недостатки.

Практика проектирования и строительства транспортно-пересадочных узлов в нашей стране и за рубежом показывает огромное множество их структурных характеристик по местоположению, особенностям зоны транспорта, насыщению объектами обслуживания, площади территории строительства, а также освоению подземного пространства [5—8].

Так, согласно СП 395.1325800.2018 «Транспортно-пересадочные узлы. Правила проектирования» все ТПУ по своему назначению подразделяются на межрегиональные, региональные, районные и локального значения (табл. 1).

При этом чем крупнее город, тем большее количество ТПУ разного значения необходимо предусматривать на территории (табл. 2), чтобы комплексно влиять на его транспортные проблемы.

Из таблицы видно, что для крупнейших городов необходимо большее разнообразие ТПУ, т. к. в них транспортная инфраструктура должна не только удовлетворять интересам населения в обслуживании их потребностей внутри города, но и обеспечивать разнообразные варианты связи с другими территориями Российской Федерации и зарубежными странами.

Т а б л и ц а 1

*Классификация ТПУ по назначению*

Название ТПУ	Назначение ТПУ	Виды транспорта, входящие в состав ТПУ
Межрегиональный	Обеспечивают связанность территории города с иными территориями Российской Федерации и зарубежными странами	Внешний, региональный, городской общественный и индивидуальный транспорт
Региональный (агломерационного значения)	Обеспечивают территориальное единство регионов	Региональный, городской общественный и индивидуальный транспорт
Районный	Обеспечивают транспортное обслуживание жителей муниципальных районов, проживающих в зонах транспортной и пешеходной доступности данного вида ТПУ	Городской общественный и индивидуальный транспорт
Локальный	Обеспечивают транспортное обслуживание территорий, расположенных в пешеходной доступности от ТПУ	Городской общественный и индивидуальный транспорт

Т а б л и ц а 2

*Состав системы транспортно-пересадочных узлов для городов различной численности*

Вид ТПУ	Тип города				
	Крупнейший город (св. 1 млн чел)	Крупные города (население от 250 до 1000 тыс. чел.)	Большие города (население от 100 до 250 тыс. чел.)	Средние города (население от 50 до 100 тыс. чел)	Малые города (население менее 50 тыс. чел)
1. Узлы межрегионального значения	+	+	+	+	+
2. Узлы регионального (агломерационного) значения	+	+	+		
3. Узлы районного значения	+	+	+	-	-
4. Узлы локального значения	+	-	-	-	-

Если же делить ТПУ по капитальности, то на сегодняшний день существуют два основных типа транспортно-пересадочных узлов: капитальные и некапитальные узлы.

Капитальные ТПУ представляют собой целое строение с благоустройством прилегающей территории (рис. 1). Суть в том, что при таком варианте строительства люди защищены от любой непогоды. Рядом строятся закрытые

парковки, и люди абсолютно беспрепятственно могут по крытым галереям пересест с одного вида транспорта на другой. Из минусов — высокая стоимость и довольно продолжительное по времени строительство. В большинстве случаях привлекаются инвесторы, т. к. возведение такого объекта — большой удар по бюджету города. Продолжительность обусловлена тем, что строительство разбивают на несколько этапов для инвестирования частями. В закрытых парковках часто оборудуют пункты технического состояния и осмотра автомобилей, а также автомойку.



Рис. 1. Проект капитального транспортно-пересадочного комплекса «Калачевский», г. Москва

В условиях обостренной ситуации, когда улично-дорожная сеть настолько перегружена, что количество автотранспорта превышает пропускную способность почти в два раза и более, чаще всего строят некапитальные узлы. К ним относятся так называемые плоскостные ТПУ, то есть перехватывающие парковки близ станций метро или вокзальных комплексов, с возможностью дальнейшего строительства полноценного капитального транспортно-пересадочного узла, если существует такая необходимость (рис. 2). Такой метод оправдывает себя довольно быстрыми сроками возведения ТПУ, что позволяет в скором времени значительно облегчить ситуацию с пропускной способностью улично-дорожной сети.

Как уже отмечалось, в большинстве случаев причинами формирования транспортно-пересадочных узлов в крупнейших городах является возникновение значительных проблем в улично-дорожной сети [9, 10]. В качестве наиболее часто встречаемых можно назвать:

- отставание развития улично-дорожной сети от уровня автомобилизации;
- перегруженность основных транспортных магистралей в часы пик;
- несоответствие планировочных параметров существующих дорог нормативным показателям;
- отсутствие необходимого количества автостоянок и парковок, вследствие чего возникают стихийные парковки на обочинах;
- недостаточное развитие городского пассажирского транспорта [11, 12].

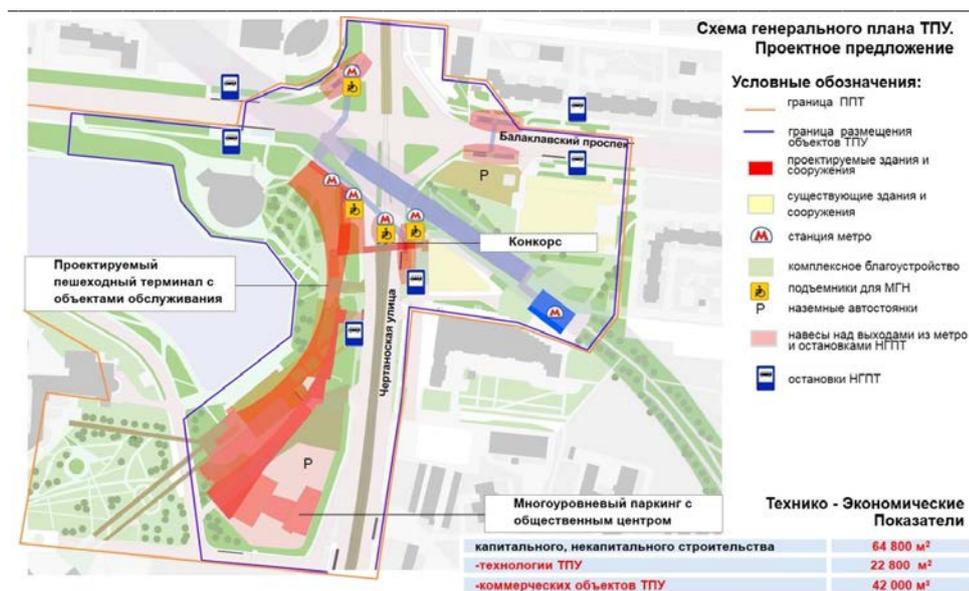


Рис. 2. Проект некапитального транспортно-пересадочного узла «Чертановская», г. Москва

Проблемы могут возникать в результате неточностей или ошибок градостроительной деятельности, в которой не были учтены возможные транспортные изменения в процессе времени [13—17].

Число и состав транспортно-пересадочных узлов крупнейших городов в значительной степени зависит от уровня развитости экономических характеристик района, функционально-планировочной организации города и транспортной инфраструктуры [18—20].

Место будущего размещения транспортно-пересадочного узла формируется на базе генерального плана развития города совместно с комплексной транспортной схемой. Сегодня, находясь на стадии градостроительного проектирования, научились сразу решать вопрос наиболее выгодного размещения ТПУ. Важным моментом градостроительства является улучшение условий коммунально-бытового обслуживания населения, соответственно, наиболее выгодной транспортной доступности с наименьшим числом структурно-планировочных противоречий между транспортной инфраструктурой и городской общественной средой.

На основе опыта разных стран можно утверждать, что чаще всего проблемы возникают в тех местах, в которых пересекаются крупные магистральные улицы, соответственно, крупные автомобильные пассажиропотоки. Чаще всего заторы формируются недалеко от общественных центров города либо в самом центре. В случаях, когда городской центр уже сформирован и размещение в нем ТПУ будет нецелесообразно, рассматривают периферийные зоны города, такие как вокзалы различных видов внешнего транспорта и внутреннего транспорта, так как там имеются все предпосылки к техническому оснащению транспортно-пересадочного узла. Предпочтение, как правило, отдают вокзалам с хорошо развитой железнодорожной веткой, иными словами, преимущественно рельсовому транспорту. Важным фактом при этом вы-

стует то, что привокзальная площадь относится к структуре транспортно-пересадочных узлов, это дает проектировщику дополнительные доступные территории [21].

Размещение многофункционального транспортно-пересадочного узла в градостроительном плане города, помимо решения транспортных проблем, способствует развитию новых общественных центров, т. к. узлы представляют собой сложную систему с большим и разнообразным функциональным зонированием.

Что касается Волгограда, то он представляет собой один из крупнейших опорных транспортных узлов России с хорошо развитой как внешней, так и внутренней инфраструктурой. Город позиционируется как наиболее значимый в системе развивающихся международных евроазиатских и внутрироссийских отношений, ведь он играет немаловажную роль в строительстве транспортных коридоров «Транссиб» и «Север — Юг». Поэтому решение проблем развития транспортной инфраструктуры Волгограда — одна из приоритетных задач, определяющих возможность активизации экономических, культурных и туристических связей города и улучшения качества жизни населения [22].

В связи с развитием города увеличивается транспортная подвижность жителей и средняя дальность их поездок, из-за чего возрастает потребность как в личном, так и в общественном транспорте. Только за последние 10—15 лет количество автомобилей увеличилось на 60...70 %, что оказалось основной причиной перегруженности транспортной сети Волгограда [23].

Наиболее сильно обстановка накаляется в так называемые часовые заторы, то есть в утреннее и вечернее время, а также в выходные дни. Связано это в основном с тем, что люди едут на работу, отвозят детей в детские дошкольные или общеобразовательные учреждения, а в конце рабочего дня возвращаются домой. На такой плотный поток автомобилей недостаточно развитые транспортные магистрали просто не рассчитаны, транспортная сеть города не справляется со своей задачей, вследствие чего возникает необходимость модернизации городских транспортных сетей [24].

В крупных городах одним из наилучших методов решения проблемы транспортной системы будет стимулирование отказа местного населения от личного транспорта путем внедрения дешевого и быстрого общественного транспорта. Для него создаются отдельные специальные полосы движения, и он является приоритетом, которому по правилам дорожного движения (ПДД) все должны в обязательном порядке уступать дорогу.

Стимулирование отказа населения от личного транспорта достигается путем грамотного и эффективного строительства транспортно-пересадочных узлов и умелого их внедрения в транспортную систему города, в этом случае, как показывает практика, количество автомобилей на дорогах падает в разы, что, в свою очередь, значительно разгружает улично-дорожную сеть [25].

Что касается Волгограда, то его руководство уже обсуждает план по созданию в городе девяти транспортно-пересадочных узлов с перехватывающими парковками по линии следования электричек. Реализация этого проекта позволит вывести на новый уровень пассажирские перевозки — с помощью электропоездов и удобных посадочных пунктов. Жители и гости города смогут преодолевать расстояние от самого южного Красноармейского района до



шенны две немаловажные проблемы для развития всей транспортной инфраструктуры Волгограда.

На сегодняшний день на территории района располагается автостанция «Южная» и железнодорожная станция «Сарепта» (рис. 3). Данные объекты не соответствуют современным требованиям градостроительства, а также находятся на достаточно большом расстоянии друг от друга, что затрудняет движение пассажиропотоков. Еще одной проблемой является небольшая пропускная способность, из-за чего количество останавливающихся поездов и автобусов на данных объектах незначительное, что вынуждает жителей южной части Волгограда преодолевать существенные расстояния до центральных объектов внешнего транспорта.

В связи с вышеизложенным считаем весьма актуальным строительство ТПУ на базе уже имеющейся железнодорожной станции «Сарепта» (рис. 4, 5). Рядом пересекаются две автомагистрали А153 и Р22 «Каспий», которые в дальнейшем переходят в самую длинную по протяженности (порядка 60 км) Вторую продольную магистраль города, которая проходит практически через весь Волгоград. Таким образом, это позволит объединить следующие виды транспорта: поезда, электрички, пригородные, междугородные и городские автобусы, а также личный индивидуальный транспорт; разгрузит центральный автовокзал от южных направлений; обеспечит легкую транспортную связь Красноармейского района с другими частями города; улучшит облик въездной зоны Красноармейского района.

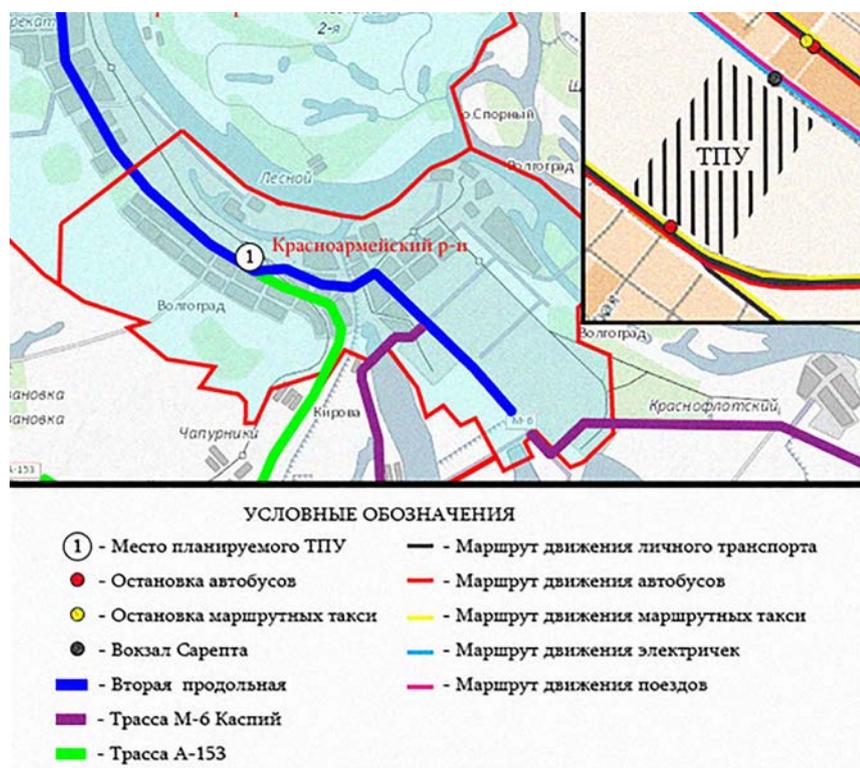


Рис. 4. Схема Красноармейского района с обозначением расположения ТПУ и с обозначением его связи с городскими и внешними транспортными путями



Рис. 5. Проект транспортно-пересадочного узла с благоустройством прилегающих территорий в Красноармейском районе Волгограда

#### **Выводы:**

На основе вышеизложенного можно говорить о том, что строительство ТПУ в г. Волгограде имеет ряд перспектив.

Во-первых, улучшится транспортная ситуация в городе и решится ряд проблем:

- разгрузится центральный автовокзал от южных направлений;
- обеспечится легкая транспортная связь Красноармейского района с другими частями города;
- увеличится пропускная способность как авто-, так и железнодорожного вокзала;
- будут созданы более комфортные условия для пересадки пассажиров благодаря объединению автовокзала и железнодорожной станции на одной территории;
- улучшится облик въездной зоны города с южного направления.

Во-вторых, наметятся положительные тенденции в развитии социальной инфраструктуры города — создаются благоприятные условия для удобного бытового обслуживания жителей района (размещение на территории ТПУ объектов розничной торговли и зон отдыха).

В-третьих, улучшится экономическая (создание новых рабочих мест) и экологическая (снижение вредных выбросов за счет сокращения индивидуального автотранспорта на улицах Волгограда) ситуация в городе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Медведев П. В.* Формирование транспортно-пересадочных узлов в городах // Вестник университета. 2014. № 11. С. 120—124.
2. *Шмыголь И. В.* Перспективы развития транспортно-пересадочных узлов в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2014. № 4(53). С. 16—19.
3. *Абабкова М. Ю., Белинская И. В.* Совершенствование логистической системы мегаполиса // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 44. С. 150—153.
4. *Третьякова П. А., Клевеко В. И.* Современные методы повышения эффективности транспортных систем городов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 1. С. 101—108.
5. *Власов Д. Н., Леоненко С. М., Широкая Н. В.* Развитие интермодальных пересадочных узлов в городах Российской Федерации // Academia. Архитектура и строительство. 2016. Вып. 3. С. 90—95.
6. *Михайлов А. Ю., Копылова Т. А.* Классификационные характеристики интермодальных узлов городского пассажирского транспорта на примере г. Вены // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. Вып. 1(12). С. 137—144.
7. *Власов Д. Н.* К вопросу о классификации транспортно-пересадочных узлов крупнейшего города // Вестник МГСУ. № 3. С. 47—51.
8. *Пышкин Н. С.* Систематизация городских транспортно-пересадочных узлов // Academia. Архитектура и строительство. № 2. С. 71—76.
9. *Коростелева Н. В., Басов В. А.* Актуальность строительства транспортно-пересадочного узла в городе Волгограде // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2019. № 2(9). С. 79—87.
10. *Коростелева Н. В.* Анализ основных транспортных проблем города Волгограда и пути их решения // Вестник Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии. Сер.: Строительство и архитектура. Волгоград : ВолГАСА. 2015. Вып. 41(60). С. 158—168.
11. *Лобанов Е. М.* Транспортные проблемы современных больших городов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2005. Вып. 1(1). С. 2931.
12. *Щербина Е.В., Федотов Д.В.* Совершенствование транспортной системы крупнейшего города путем развития системы «Перехватывающих парковок» // Вестник МГСУ. 2010. № 4—5. С. 49—54.
13. *Залесский Н. В., Зюзин П. В., Кончева Е. О.* Реорганизация пространственной структуры комплекса регионального общественного транспорта на примере Пермского края // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. Вып. 1. С. 96—105.
14. *Третьякова П. А., Клевеко В. И.* Современные методы повышения эффективности транспортных систем городов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2012. Вып. 1. С. 101—108.
15. *Naumov V., Samchuk A.* Main directions of efficiency improvement of transport interchanges functioning // Automobile Transport. 2015. № 36. Pp. 118—124.
16. *Азаренкова З. В.* Транспортная составляющая социальных стандартов качества жизни в градостроительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2011. Вып. 4. С. 85—88.
17. *Коростелева М. В., Коростелева Н. В.* Обеспечение устойчивого развития городских округов: правовые и архитектурно-планировочные аспекты // Новая правовая мысль. 2017. № 1. С. 4.
18. *Мулдагалиева А. М.* Архитектурно-планировочные решения проектирования транспортно-пересадочных узлов в г. Астане // Научные исследования. 2018. № 6(26). С. 88—90.
19. *Азаренкова З. В.* Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 76—80.
20. *Бовэнь Цзэн, Чупарин Е. Н.* Восемь принципов развития транспортно-пересадочных узлов (на примере станции Иркутск-Сортировочный) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Вып. 4(23). С. 225—234.
21. *Шагимуратова А. А.* Роль железнодорожного транспорта в формировании системы транспортно-пересадочных узлов на примере Германии // Вестник евразийской науки. 2016. № 2(33). С. 133.
22. *Ядыкин Г. В., Коростелева Н. В.* Актуальность строительства «парк-отелей» в городе Волгограде // Актуальные проблемы городского строительства : сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. (29—30 янв. 2019 г.) / Пензен. гос. ун-т архит. и стр.-ва. Пенза, 2019. С. 54—58.

23. *Коростелева Н. В.* Анализ степени влияния различных факторов на уровень шума городских магистралей // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Международной конференции, посвященной 60-летию образования вуза. Волгоград : ВолГАСУ. 2012. С. 190—194.

24. *Коростелева Н. В., Нестеренко Е. В.* Развитие велоинфраструктуры в городах, как способ снижения негативного влияния транспортной системы // Вестник Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии. Сер.: Строительство и архитектура. Волгоград : ВолГАСА. 2016. Вып. 45(64). С. 149—157.

25. *Сухачева М. П., Коростелева Н. В.* Оптимизация транспортной инфраструктуры крупнейших городов как метод создания экологически благополучной городской среды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 110—119.

© *Коростелева Н. В., Басов В. А., 2020*

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

*Коростелева Н. В., Басов В. А.* Перспективы организации транспортно-пересадочных узлов в крупных городах (на примере Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 108—117.

Об авторах:

**Коростелева Наталия Владимировна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [korostelevanv@mail.ru](mailto:korostelevanv@mail.ru)

**Басов Валерий Александрович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [baaasov@mail.ru](mailto:baaasov@mail.ru)

**Nataliya V. Korosteleva , Valeriy A. Basov**

**Volgograd State Technical University**

## PROSPECTS OF ORGANIZATION OF TRANSPORT AND TRANSFER NODES IN LARGE CITIES (ON THE EXAMPLE OF VOLGOGRAD)

The presented article considers the main types of transport and transfer nodes and their possible impact on the transport situation in the large cities. The authors analyzed the transport problems of the large cities on the example of Volgograd and considered the prospects of organizing a transport and transfer hub in the southern part of the city.

**Key words:** transport and transfer node; street-road network; throughput; transport infrastructure.

*For citation:*

Korosteleva N. V., Basov V. A. [Prospects of organization of transport and transfer nodes in large cities (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], 2020, iss. 1, pp. 108—117.

*About authors:*

**Nataliya V. Korosteleva** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [korostelevanv@mail.ru](mailto:korostelevanv@mail.ru)

**Valeriy A. Basov** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [baaasov@mail.ru](mailto:baaasov@mail.ru)

УДК 691.42

**Е. С. Гайшун, А. А. Филиппова, А. С. Гайшун, Х. С. Явруян, В. Д. Котляр**

*Донской государственный технический университет*

**ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ  
НА ОСНОВЕ ТЕРРИКОНИКОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ**

Представлены результаты работ по исследованию отсевов переработки террикоников Восточного Донбасса в качестве сырья для производства керамических камней. Техногенное сырье является широко распространенным в данном регионе. Дана характеристика технологических свойств отсевов, для которых наиболее подходящим является способ компрессионного формования изделий при повышенном давлении и пониженной влажности. Установлено, что основными технологическими факторами являются: зерновой состав сырьевой массы, ее влажность, давление прессования и температура обжига. Предложена методика оценки показателей качества сырья и их влияния на свойства готовой продукции. Показана высокая экономическая перспективность применения отсевов для производства строительной керамики.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** отсев, техногенное сырье, керамические камни, терриконики.

В настоящее время в угледобывающих районах Ростовской области (Восточный Донбасс) активно ведется переработка террикоников с целью извлечения угля, которая стала экономически целесообразной в последние годы. Помимо угля в процессе переработки извлекаются попутные продукты, которые классифицируются по зерновому составу. Фракции 0...0,5 и 0...2 мм, содержащие уголь в количестве 15...50 %, используются как топливная добавка при производстве керамического кирпича и как низкокалорийное топливо [1—3]. Материал крупностью от 4...6 мм до 80...90 мм фракционируется и реализуется как щебень для применения в строительстве. Фракция 2...6 мм, практически не содержащая угля и называемая отсевом, по ряду причин является самой невостребованной [4]. Общие запасы отсевов в Ростовской области составляют несколько миллионов тонн и продолжают увеличиваться.

По преобладающему виду слагающих пород все терриконики Восточного Донбасса условно делятся на 3 группы:

- сложенные аргиллитами и глинистыми сланцами;
- сложенные алевролитами и песчаниками;
- смешанного состава, сложенные аргиллитами, глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками.

Последние являются самыми распространенными. Кроме того, особенностью геологического строения угольных толщ Восточного Донбасса является слоистое строение и чередование пластов аргиллитов, глинистых сланцев, алевролитов и песчаников, что отражается и на составе террикоников [2, 5]. В процессе переработки горная масса террикоников подвергается дроблению на щековых и конусных дробилках, рассеву, обогащению различными способами и т. д., в результате чего в отсев попадают наиболее слабые малопрочные и мягкие породы, а именно глинистые сланцы и аргиллиты (рис. 1, 2).



Рис. 1. Процесс переработки террикоников



Рис. 2. Отсевы террикоников на хранении

При изучении нами нескольких десятков отсевов дробления террикоников по виду и количеству слагающих пород, они были разделены на 4 группы:

I группа — отсевы, где содержание аргиллитов и глинистых сланцев составляет более 80 %;

II группа — отсевы, где содержание аргиллитов и глинистых сланцев колеблется в интервале 50...80 % и содержание алевролитов и песчаников — от 20 до 50 % (рис. 3);

III группа — отсевы, где содержание аргиллитов и глинистых сланцев колеблется в интервале 20...50 % и содержание алевролитов и песчаников — от 50 до 80 %;

IV группа — отсевы, где содержание алевролитов и песчаников составляет более 80 %.

Усредненный зерновой состав отсевов представлен в табл. 1. Он характеризуется достаточно высоким модулем крупности и по этому показателю может быть отнесен к группе песка с повышенной крупностью, с небольшим количеством фракции 0,16...0,315 мм и менее 0,16 мм.

По химическому составу отсевы не имеют принципиальных отличий от типичного глинистого сырья и характеризуются содержанием  $Al_2O_3$  от 16 до 22 % и содержанием оксида калия более 4 %. Обусловлено это особенностями минералогического состава [6]. Усредненный химический состав отсевов представлен в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

*Усредненный зерновой состав отсевов*

Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах					Проход через сито с сеткой № 016, % по массе	Модуль крупно- сти
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
Частный	8,3	1,8	4,7	11,5	7,3	6,4	3,43
Полный	28,3	60,1	74,8	86,3	93,6	—	

Т а б л и ц а 2

*Усредненный химический состав отсевов, % по массе*

ППП	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
10,27	52...60	16...22	4...7	1...4	1...4	0,2...0,6	3...5	0,2...1,0	0,1...0,3	0,4...1,0

По результатам рентгеновского анализа минералогический состав отсевов представлен несколькими минералами. Для примера на рис. 3 приведена рентгенограмма отсевов одного из техногенных месторождений II группы. Пики 4,48, 5,06 и 10,16 Å указывают на то, что гидрослюда (иллит) присутствует во всех образцах [7]. Этот минерал, как правило, является основным элементом. При интенсивности пиков в образцах разных месторождений она имеет различную степень структурного совершенства и содержится в различном количестве. Гидрослюда (иллит) — типичный глинистый минерал, относящийся к группе гидрослюдов. Имеет такой же структурный пакет типа 2:1, что и монтмориллонит, но в отличие от него в тетраэдрическом слое всегда содержатся ионы алюминия, изоморфно замещающие ионы кремния, а образующийся заряд пакета компенсируется ионами калия [8]. Толщина пакета примерно 1 нм. Кроме K<sup>+</sup> в межпакетном пространстве могут находиться в небольших количествах Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (гидроксоний). Структурные пакеты прочно связаны между собой катионами, которые не позволяют молекулам воды просочиться между ними, вследствие чего не происходит набухания. В воде частицы гидрослюды медленно распускаются. Гидрослюды обычно встречаются совместно с другими глинистыми минералами, образуя совместные смешаннослойные образования. Наиболее распространенными минералами глинистых сланцев и аргиллитов являются гидрослюды [2, 5]. Наблюдается корреляционная связь между содержанием гидрослюды и содержанием оксида калия. Исследования ориентированных фракционированных обожженных препаратов позволили диагностировать у большинства проб отсевов каолинит — 7,13; 3,56; 2,33 Å и др. [9, 10].

Во всех пробах диагностируется кварц, являющийся терригенной примесью. В силу высокой кристалличности его дифракционные пики (3,34; 1,82; 1,54; 4,25; 2,45; 2,28; 2,12 Å) имеют значительную интенсивность. Также почти во всех пробах отмечаются полевые шпаты и плагиоклазы (ортоклаз, альбит, анортит — 3,20; 4,04; 2,96; 2,51 Å) [10, 11].

Практически на всех рентгенограммах отмечаются пики хлорита, клинохлора, шериданита — 7,12; 3,53; 14,5; 4,68 Å и др. Хлорит — слюдоподобный минерал, состоящий из чередующихся слюдо- и бруситоподобных слоев. Из-за особенностей связи внутри и между пакетами обычно хлориты в воде не набухают. Встречаются они всегда в смеси с другими глинистыми минералами.

ми. Иллитовые глинистые минералы аналогичны размеру с частицами хлорита [6]. В связи с тем, что хлорит варьирует своим химическим составом, это способствует образованию новых разновидностей хлорита.

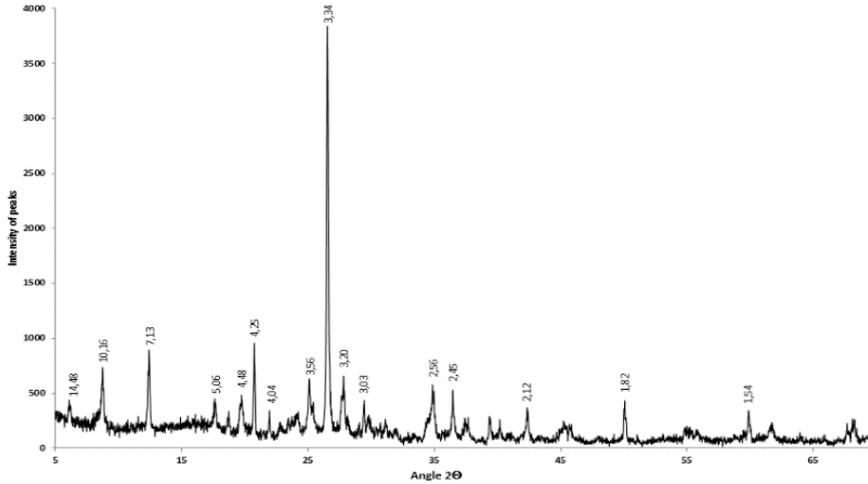


Рис. 3. Рентгенограмма отсевов II группы

Проведенные нами исследования показали, что подготовка отсевов в качестве сырья для производства строительной керамики заключается в их измельчении до фракций  $0...0,63$  —  $0...0,16$  мм. Маятниковые мельницы являются наиболее подходящим оборудованием для измельчения отсевов. При этом зерновой состав может характеризоваться как непрерывным, так и прерывистым. Чтобы получить изделие с большей прочностью, нужно тонкоизмельченное исходное сырье [12—14]. Зависимости водопоглощения и прочности обожженных образцов от степени измельчения отсевов и температуры обжига представлены на рис. 4, 5. На графиках показано, что при температуре обжига от  $1000$  °C и выше достигаются высокие показатели по прочности при достаточно низком водопоглощении образцов [15].

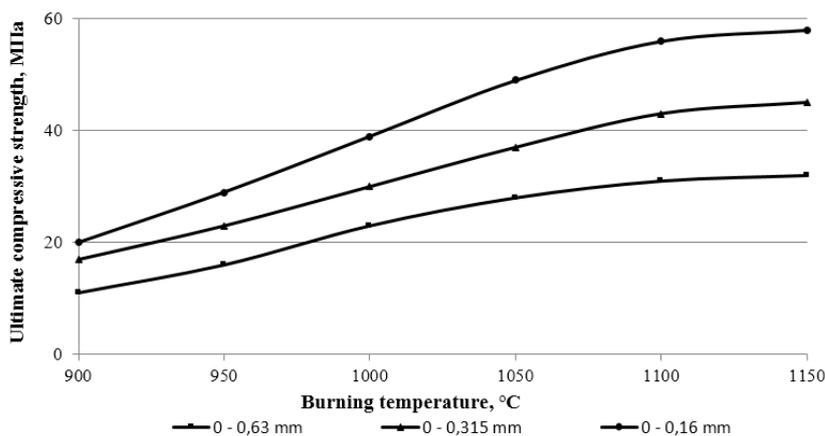


Рис. 4. Влияние степени измельчения и температуры обжига на предел прочности при сжатии

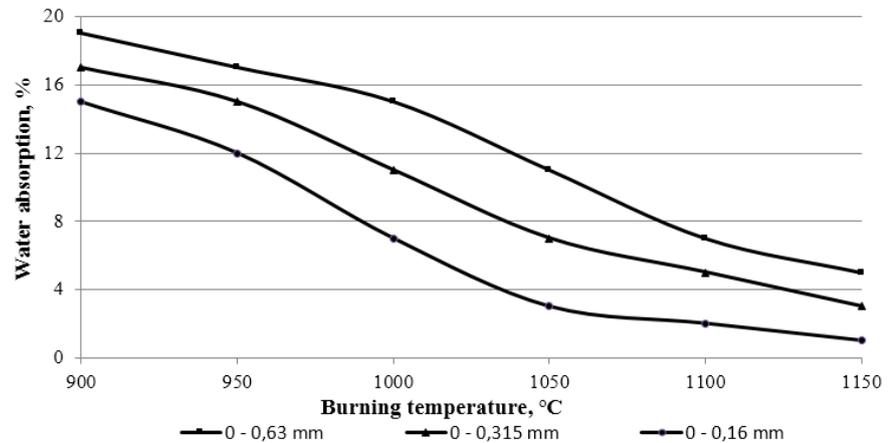


Рис. 5. Влияние степени измельчения и температуры обжига на водопоглощение образцов

Наиболее рациональным способом получения изделий является способ компрессионного формования при пониженной формовочной влажности и повышенном давлении прессования. Для отсевов I группы может применяться и способ жесткой (полужесткой) экструзии с прямой садкой изделий на печные вагонетки. При варьировании технологических факторов возможно получение изделий с широкой номенклатурой свойств [16, 17].

Результаты экспериментальных работ, в том числе и в полужаводских условиях, показали, что ввод в керамическую массу 10 % отсевов переработки террикоников обеспечивает необходимую пластичность и формовочные свойства, при этом прочность обожженных образцов возрастает на 15...20 % без увеличения средней плотности, т. е. для достижения необходимой прочности изделия с вводом отсевов переработки террикоников можно обжигать на 20...30 °C ниже.

Результаты проведенных нами работ позволили разработать, на наш взгляд, оптимальную технологическую схему производства высокоэффективных крупноразмерных керамических блоков на основе продуктов переработки угольных отвалов (отсевов и угольных шламов) с формованием изделий способом полужесткой экструзии, сушкой изделий в туннельной сушилке на обжиговых вагонетках при следующем содержании компонентов: отсевы — 65...70 %; угольные шламы — 20...25 % и кремнистая глина — 10 %.

Проведенные исследования позволили подобрать сырьевые материалы и разработать технологическую схему производства высокоэффективных керамических камней с минимальной себестоимостью. Низкая себестоимость будет достигаться за счет:

- практически бесплатных сырьевых материалов;
- упрощенной технологической схемы подготовки сырьевой смеси;
- формования изделий способом жесткой экструзии;
- ускоренной сушки изделий на обжиговых вагонетках в туннельной сушилке;
- минимальных затрат на обжиг изделий за счет использования угольных шламов;
- высокой автоматизации производства с минимальным использованием ручного труда.

Реализация полученных результатов на практике позволит создать высококорентабельные производства и сделать Ростовскую область крупным производителем стеновой керамики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Столбушкин А. Ю., Стороженко Г. И.* Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база заводов керамических стеновых материалов // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 43.
2. *Талпа Б. В., Котляр А. В.* Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород Юга России для производства строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 31.
3. *Кара-Сал Б. К., Котельников В. И., Сапелкин Т. В.* Получение керамического стенового материала из вскрышных пород углеобогащения // *Естественные и технические науки*. 2015. № 2. С. 160.
4. *Котляр В. Д., Гайшун А. С., Явруян Х. С.* Материалы средней фракции переработки угольных отходов для производства стеновой керамики. URL: [doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.532](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.532).
5. Особенности камневидных глинистых пород восточного Донбасса как сырья для производства стеновой керамики / В. Д. Котляр, А. В. Козлов, А. В. Котляр, Ю. В. Терехина // *Вестник МГСУ*. 2014. № 10. С. 95.
6. *Явруян Х. С., Котляр В. Д.* Тонкодисперсные продукты переработки терриконики в качестве сырья для керамических стеновых изделий // *МАТЕС Web of Conferences*. 2017.
7. Технология производства высокоэффективных структурных глинистых плиток из отходов переработки угля — отсеков и угольных шламов / Х. С. Явруян, А. С. Охотная, В. Д. Котляр, Е. О. Лотошникова и др. // *Скопус*. 2017. С. 347—352.
8. *Котляр В. Д., Котляр А. В., Козлов А. В.* Особенности гранулометрического состава глинистого сырья по данным лазерной дифракции // *Стекло и керамика*. 2017. № 4. С. 21—27.
9. Исследования отсеков территории Донбасса для производства стеновой керамики / В. Д. Котляр, А. С. Гайшун, Ю. В. Терехина, Х. С. Явруян. URL: [mateconfrences.org/articles/mateconf/pdf/2018/55/mateconf\\_rsp2018\\_04055.pdf](https://mateconfrences.org/articles/mateconf/pdf/2018/55/mateconf_rsp2018_04055.pdf).
10. Комплексный подход к обработке грунта Восточного Донбасса / В. Д. Котляр, Ю. В. Терехина, Х. С. Явруян, Е. С. Гайшун // *Скопус*. 2018. С. 22—25.
11. Методика испытаний камневидного кремнистого и глинистого сырья для производства кирпича и черепицы / Ю. В. Терехина, Ю. А. Божко, А. В. Котляр, Я. В. Лазарева и др. // *Скопус*. 2019. С. 347—352.
12. Влияние температуры обжига на спекание керамического черепка из отходов углистых аргиллитов / А. Ю. Столбушник, А. И. Иванов, В. А. Сиропятов, О. А. Фомина и др. // *Новости университетов. Строительство*. 2015. № 10(682). С. 39.
13. *Котляр В. Д., Явруян Х. С.* Стеновые керамические изделия на основе тонкодисперсных продуктов переработки терриконики // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 38.
14. Исследование среднефракционных материалов переработки терриконики для производства изделий стеновой керамики / Х. С. Явруян, В. Д. Котляр, Е. О. Лотошникова, Е. С. Гайшун // *Строительные материалы*. 2018. № 4. С. 17.
15. Влияние степени восстановления аргиллитов на керамическую плитку и тротуарный клинкер низкотемпературного спекания / А. В. Котляр, К. А. Лапунова, Я. В. Лазарева, М. Е. Орлова и др. // *Materials Science Forum*, 2018.
16. *Явруян Х. С., Гайшун Е. С., Котляр А. В.* Особенности компрессионного формования тонкодисперсных продуктов углеобогащения при производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. № 12. 2017. С. 14.
17. *Котляр В. Д., Терехина Ю. В., Котляр А. В.* Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования (в порядке обсуждения) // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 24.

© Гайшун Е. С., Филиппова А. А., Гайшун А. С., Явруян Х. С., Котляр В. Д., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Перспективное сырье на основе терриконилов Восточного Донбасса для производства керамических камней / Е. С. Гайшун, А. А. Филиппова, А. С. Гайшун, Х. С. Явруян, В. Д. Котляр // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 118—125.

*Об авторах:*

**Гайшун Евгений Сергеевич** — аспирант, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; SUBARU156@yandex.ru

**Филиппова Анастасия Андреевна** — студентка, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; filippova.anastasia97@gmail.com

**Гайшун Алексей Сергеевич** — студент, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344000, пл. Гагарина, 1; aleksaigaishun@gmail.com

**Явруян Хаунгианос Степанович** — канд. техн. наук, доцент, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; khuangianos@mail.ru

**Котляр Владимир Дмитриевич** — д-р техн. наук, профессор, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; diatomod\_kvd@mail.ru

***Evgenii S. Gaishun, Anastasiya A. Filippova, Alexey S. Gaishun, Khungianos S. Yavruyan, Vladimir D. Kotlyar***

***Don State Technical University***

**THE PERSPECTIVE OF USING RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF CERAMIC STONES FROM THE HEAPS OF EAST DONBAS**

The article contains information about research on screenings of the heaps of Eastern Donbas. The materials found in the heaps can be used for production of ceramics, which in their turn can benefit construction with less waste. The main components of the screenings are siltstone, shales, claystone, and sandstones. The main minerals of the screenings are feldspars, quartz, micas, and hydromica. Finding out the properties of the screenings helped to understand that the best method to process them is the compression moulding of products at high pressure and low humidity levels. It was established that the main technological factors are the grain composition of the raw material mass, its moisture content, pressure point and firing temperature. Varying these technological factors makes it possible to obtain products of different types, such as front, ordinary, and clinker bricks, which have a wide range of properties. There is a technique, which helps to evaluate the quality of the finished products. There is a great deal of economic benefit for using the screenings for production of ceramics.

**Key words:** siftings, technogenic raw material, ceramic stones, heaps.

*For citation:*

Gaishun E. S., Filippova A. A., Gaishun A. S., Yavruyan Kh. S., Kotlyar V. D. [The perspective of using raw materials for the production of ceramic stones from the heaps of East Donbas]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 118—125.

*About authors:*

**Evgenii S. Gaishun** — Postgraduate student, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., 344000, Rostov on Don, Russian Federation; SUBARU156@yandex.ru

**Anastasiya A. Filippova** — Student, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., 344000, Rostov on Don, Russian Federation; filippova.anastasia97@gmail.com

---

**Aleksei S. Gaishun** — Student, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., 344000, Rostov on Don, Russian Federation; [aleksaigaishun@gmail.com](mailto:aleksaigaishun@gmail.com)

**Khuangianos S. Yavruyan** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., 344000, Rostov on Don, Russian Federation; [khuangianos@mail.ru](mailto:khuangianos@mail.ru)

**Vladimir D. Kotlyar** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Don State Technical University. 1, Gagarina Sq., 344000, Rostov on Don, Russian Federation; [diatomod\\_kvd@mail.ru](mailto:diatomod_kvd@mail.ru)

УДК 691.32

*Т. А. Голова, И. А. Магеррамова, Н. В. Андреева*

*Балаковский инженерно-технологический институт — филиал МИФИ*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕАВТОКЛАВНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ, ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ВОЛОКНАМИ**

В статье рассматривается целесообразность применения синтетической фибры в качестве армирующих волокон (отходы капроновых и тканевых изделий) для пенобетонных композитов неавтоклавного твердения. Целью исследований является экспериментальное определение повышения прочности на сжатие и изгиб, выбор технологии введения волокна в фибропенбетонную матрицу и улучшение эксплуатационных характеристик неавтоклавного конструктивного пенобетона. Представлены результаты экспериментальных исследований показателей прочности на сжатие, изгиб, теплопроводности фибропенбетонных образцов с модифицированными синтетическими волокнами. Определены эффективные составы для фибропенбетонных с повышенными физико-механическими характеристиками. Установлено, что технология введения модифицированной фибры в пенобетонные образцы привела к росту прочности при сжатии до 40 %, повышению прочности на растяжение при изгибе до 16 %.

**Ключевые слова:** пенобетон, фибропенбетон, керамзитопенобетон, синтетическая фибра, отходы капроновых и тканевых изделий, органическая фибра, физико-механические свойства, технология модификации фибры.

**Введение.** В условиях современного строительства большое применение получили ячеистые блоки, изготовленные из неавтоклавного пенобетона, так как он обладает пониженной плотностью и низкой теплопроводностью [1—3].

Плотность блоков, изготовленных из ячеистых бетонов, является одной из основных физических характеристик. В зависимости от массы ячеистые бетоны подразделяют<sup>1</sup> на теплоизоляционные 300...400 кг/м<sup>3</sup>; конструктивно-теплоизоляционные 500...900 кг/м<sup>3</sup>; конструктивные 1000...1200 кг/м<sup>3</sup>.

Эффективность применения этих блоков характеризуется востребованностью в условиях повышенных требований к огнестойкости и теплопроводности ограждающих конструкций. Однако при транспортировке данные изделия часто подвергаются хрупкому разрушению и образованию трещин.

Поэтому целью данной работы стало экспериментальное определение повышения прочности на сжатие и изгиб, выбор технологии введения волокна в фибропенбетонную матрицу для улучшения эксплуатационных характеристик неавтоклавного конструктивного пенобетона.

**Методология.** Повышения прочности и улучшения эксплуатационных характеристик неавтоклавного пенобетона возможно достичь двумя способами: использованием дисперсного армирования на основе синтетических волокон и добавлением крупного заполнителя в пенобетонную матрицу.

Для снижения усадки пенобетона и повышения трещиностойкости используют волокнистое армирование [4—7].

Трещины формируются в пенобетоне в пластичном состоянии и являются причиной пониженной целостности и прочности композита. Эти трещины образуются в первые сутки после укладки бетонной смеси. При этом усадка и

<sup>1</sup> ГОСТ 25485—89. Бетоны ячеистые. Технические условия. М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.

усадочные трещины могут быть невидимыми и через несколько дней. Они покрыты отделкой или имеют малую ширину раскрытия трещин, чтобы их можно было увидеть до тех пор, пока бетон будет усаживаться далее либо внешние воздействия не раскроют трещины. Возникновение трещин происходит вследствие превышения внутренних напряжений прочности бетона [8—10]. Этому можно избежать армированием бетонной смеси волокном. Бетон, армированный волокнами, обладает более высокими морозостойкими характеристиками и поэтому по долговечности он не уступает бетону с воздухововлекающими добавками. Процесс повышения морозостойкости происходит за счет следующих операций: в бетон волокнами вносится небольшое количество воздуха; воздушные пузырьки позволяют свободной воде, которая может замерзнуть, расширяться и сжиматься в цикле замерзания (оттаивания); следовательно, снижаются разрушительные эффекты мороза на раннем этапе; волокна уменьшают количество водных каналов в бетоне и вследствие снижения проницаемости придают большую устойчивость к промерзанию; армирование волокном контролирует перемещение воды в бетоне, обеспечивая более эффективную гидратацию цемента, и повышает прочность на сжатие в первые сутки.

Для армирования несущих и ограждающих конструкций применяется неметаллическая арматура. Преимуществом дисперсной полимерной арматуры является стойкость в щелочной среде бетона на цементном вяжущем и стойкость к агрессивному воздействию (хлоридов, сульфатов). Такая арматура имеет коэффициент теплопроводности 0,21...0,26 Вт/м·К [11], что ниже, чем у металлической арматуры в 4—4,5 раза.

Для выбора волокон армирования в исследованиях применяли полиамидные волокна (ПА) двух видов (в чистом виде и отходы капроновых изделий с содержанием 90 % полиамида, рис. 1, *а*, *б*) и поливолокна (ПВ), состоящие из отходов тканевых продуктов (рис. 1, *в*). Волокна из отходов были получены путем механического измельчения до принятых размеров 4, 8, 12 мм.



Рис. 1. Общий вид синтетических полимерных волокон: *а* — полиамидная нить; *б* — полиамидные волокна (отходы капроновых изделий); *в* — поливолокна, состоящие из отходов тканевых продуктов

Применение в качестве фибры отходов капроновых и тканевых изделий дает возможность их утилизировать, однако не выработан механизм их измельчения. При этом современная химическая промышленность не имеет достаточно простых способов разделить полиамид, полиэстер, что отрицательно влияет на экологию.

Свойства волокон для экспериментальных исследований определялись по ГОСТ 14613—83<sup>2</sup>, ГОСТ 10063—93<sup>3</sup>, ГОСТ 8541—2014<sup>4</sup> и представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Свойства синтетических волокон*

№	Наименование волокна	Диаметр отрезка	Длина отрезка, мм	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
1	Полиамидная нить	1 мм	4, 8, 12	40...60	8	0,74
2	Полиамидные волокна (отходы капроновых изделий)	0,1 мм	4, 8, 12	40...60	2,3...3,0	1,41...1,42
3	Поливолоконна, состоящие из отходов тканевых продуктов (хлопок, лен, шерсть, шелк)	5...40 мкм	4, 8, 12	43,2	2,95	1,46

**Экспериментальные исследования.** Эксперимент проводился в несколько этапов: I — определение влияния волокнистого армирования и керамзитового заполнителя на прочностные характеристики пенобетонных образцов; II — выбор технологии введения волокна в фибропенобетонную матрицу; III — выбор эффективного состава для изготовления фибропенобетонных изделий.

Исследования проведены с использованием стандартных средств и методов измерения.

На первом этапе эксперимента были изготовлены контрольные образцы на основе пенобетона (ПБ), керамзитопенобетона (КПБ) и фибропенобетона с полиамидными волокнами двух видов (ФПБ<sub>п</sub> и ФПБ<sub>к</sub>). Всего было изготовлено образцов — кубов 10 × 10 × 10 см — 24 шт. и балочек 16 × 4 × 4 см — 24 шт. для испытания на 7 и 28 сутки соответственно<sup>5</sup>. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Эксплуатационная надежность

<sup>2</sup> ГОСТ 14613—83. Фибра. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3). М. : Издательство стандартов, 1989.

<sup>3</sup> ГОСТ 10063—93. Нить полиамидная для текстильной промышленности. Технические условия. М. : Издательство стандартов, 1994.

<sup>4</sup> ГОСТ 8541—2014. Изделия чулочно-носочные, вырабатываемые на круглочулочных автоматах. Общие технические условия (с Поправкой). М. : Стандартинформ, 2015.

<sup>5</sup> ГОСТ 12852.0—77. Бетон ячеистый. Общие требования к методам испытаний. М. : Издательство стандартов, 1995.

ГОСТ 10180—2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М. : Стандартинформ, 2018.

строительных материалов и конструкций» Балаковского инженерно-технологического института — филиала НИЯУ МИФИ.

В качестве исходных материалов использовались: цемент ПЦ М500 Вольского цементного завода по ГОСТ 10178—85<sup>6</sup>, речной песок с  $M_{кр} = 1,8$  по ГОСТ 8736—2014<sup>7</sup>, сухая керамзитовая засыпка для сборных полов КНАУФ с модулем крупности 0...5<sup>8</sup>, пенообразователь ПБ-2000<sup>9</sup>. Для исследуемых составов: соотношение цемента к заполнителю 1:0,44...1,7, содержание фибр длиной 4, 8, 12 мм — 1,5...3,5 % от массы вяжущего, в/т соотношение 0,25...0,3. Вода — по ГОСТ 23732—2011<sup>10</sup>.

Приготовление неавтоклавно пенобетона, армированного волокнами, осуществлялось с последующим виброуплотнением. Твердение происходило в естественных условиях. Общий вид структуры образцов представлен на рис. 2.

Полиамидные волокна по химическому строению относятся к гидрофобным, и адгезия волокон к цементно-вяжущему оказывается слабой. Из-за небольшой плотности волокна иногда поднимались на поверхность цементно-песчаной матрицы.



Рис 2. Общий вид структуры образцов

В таблице 2 представлены результаты исследования влияния армирования ПА на сроки схватывания цементной матрицы и данные механических характеристик, исследуемых составов.

Полученные экспериментальные данные показали, что введение полиамидной фибры в состав влияет на сроки схватывания, сокращает начало схватывания практически до 30 % (состав 3, 4). При этом была повышена трещиностойкость образцов с фиброй, однако испытания показали недоста-

<sup>6</sup> ГОСТ 10178—85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (С Изменениями N 1, 2). М. : Стандартинформ, 2008.

<sup>7</sup> ГОСТ 8736—2014. Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправкой). М. : Стандартинформ, 2019.

<sup>8</sup> КНАУФ. Керамзитовая смесь с модулем крупности 0—5. URL: [https://www.knauf.ru/catalog/find-products-and-systems/knauf-zasyпка.html#showtab-tab\\_1061\\_4](https://www.knauf.ru/catalog/find-products-and-systems/knauf-zasyпка.html#showtab-tab_1061_4).

<sup>9</sup> ТУ 2481-185-05744685—2001. Пенообразователь ПБ-2000. Технические условия. 2001.

<sup>10</sup> ГОСТ 23732—2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2012.

точное ее сцепление (волокна и нить) с пенобетонной матрицей, что снизило прочность бетона при сжатии на 30 % и прочность на изгиб на 23 % по отношению к контрольному образцу ПБ (табл. 2). Одной из причин полученного результата являлось то, что при введении в смесь волокна распределяются по объему смеси неравномерно, образуя пучок или комок, и, соответственно, неравномерно распределяются в пенобетонной матрице. При этом хорошие результаты по сравнению с другими волокнами показали фибры с длиной волокна 12 мм. Использование керамзита в качестве заполнителя привело к повышению прочности на сжатие до 50 %, прочность на изгиб осталась неизменной по отношению к контрольному образцу из пенобетона ПБ.

Т а б л и ц а 2

*Физико-механические характеристики композиционных вяжущих*

Вид состава	Нормальная густота цементного теста, %	Сроки схватывания, в мин		В/Т	Предел прочности, МПа			
		Начало схватывания	Конец схватывания		При изгибе		При сжатии	
					7	28	7	28
ПБ	27	10:05	17:00	0,26	0,8	0,8	1,7	3,5
КПБ	27	10:05	17:00	0,3	0,8	0,8	4,7	5,8
ФПБп	27	9:05	13:00	0,26	0,71	0,71	1,19	2,45
ФПБк	27	9:05	13:00	0,26	0,71	0,71	1,11	2,3

С целью повышения адгезии было предложено рассмотреть 3 схемы перемешивания с модифицированием ПА и ПВ фибр выбранной длиной 12 мм.

**Технология.** Для улучшения адгезии и повышения механических характеристик фибропенобетона (ФПБ) и керамзитофибропенобетона (КФПБ) были рассмотрены 3 схемы приготовления с различными вариантами загрузок материалов, способами и режимами перемешивания.

1-я схема включала в себя: введение волокон в сухую смесь из цемента, песка, заполнителя в виде керамзита. Получение однородной смеси сухих компонентов, последующее затворение их водой с пенообразователем. Время перемешивания смеси — 5 мин.

2-я схема включала в себя: предварительную обработку волокон путем замачивания в течение 4—5 минут в растворе воды и жидкого стекла с добавлением гашеной извести (соотношение компонентов: 1:0,3:0,06) и введением модифицированных волокон в предварительно приготовленную цементно-песчаную смесь с керамзитом, затворение пенобетонной смеси водой с модифицированной добавкой. Время перемешивания — 5 мин. Выбор жидкого стекла обусловлен содержанием кремнезема более 60 %. При взаимодействии жидкого стекла с окисью кальция, содержащейся в портландцементе и извести, образуются водонерастворимые гидросиликаты.

3-я схема: введение волокон с предварительным замачиванием в растворе воды и жидкого стекла (соотношение компонентов: 1:0,3) в приготовленную пенобетонную смесь. Время перемешивания — 5 мин.

Общее количество воды подбирали экспериментально в зависимости от подвижности бетонной смеси и корректировали с учетом того, что введение волокон уменьшает подвижность бетонной смеси.

Водотвердое отношение подбирали опытным путем в зависимости от состава по равной подвижности.

Подвижность бетонной смеси определяли вискозиметром Суттарда в зависимости от заданной плотности ячеистого бетона<sup>11</sup>.

Согласно ВСН 56—97 удовлетворительная равномерность распределения волокна в смеси характеризуется коэффициентом изменчивости, который находится в пределах от 10 до 15 %<sup>12</sup>. Распределение фибр из ПА и ПВ по объему цементно-песчаной матрицы различается и зависит от состава смеси и способа приготовления замеса, но коэффициент не превышает 12 %.

Для дальнейших исследований свойств неавтоклавного фибропенобетона и керамзитового фибропенобетона была выбрана 2-я схема приготовления, позволяющая получить более качественное распределение волокон и сократить цикл (время) приготовления смеси.

По 2-й схеме перемешивания пучки волокон распадаются на отдельные волокна, что повышает однородность смеси. Так как во время приготовления бетонной смеси при  $L = 12$  мм наблюдалась некоторая агломерация волокон, было увеличено время перемешивания для получения однородной смеси.

При использовании ПА волокон установлено равномерное распределение по объему цементно-песчаной матрицы, что позволило оставить без изменения схему перемешивания и ее продолжительность. Поднятия волокон на поверхность образцов не наблюдалось.

На третьем этапе, учитывая результаты первого и второго этапов эксперимента, были изготовлены фибропенобетонные образцы с модифицированными фибрами: с полиамидной нитью ФПБ<sub>пм</sub>, КФПБ<sub>пм</sub>; с полиамидными волокнами (отходы капроновых изделий) ФПБ<sub>км</sub>, КФПБ<sub>км</sub>; с поливолоконными (отходы тканевых продуктов) ФПБ<sub>тм</sub>, КФПБ<sub>тм</sub>.

Всего было изготовлено образцов — кубов  $10 \times 10 \times 10$  см — 36 шт. и балочек  $16 \times 4 \times 4$  см — 36 шт. для испытания на 7 и 28 суток соответственно (рис. 3). Виды составов, принятых с учетом предыдущих этапов эксперимента, представлены в табл. 3.



Рис. 3. Общий вид структуры образцов с модифицированной фиброй

<sup>11</sup> СН 277—80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. М. : Стройиздат, 1981.

<sup>12</sup> ВСН 56—97. Ведомственные строительные нормы по проектированию и основным положениям технологий производства фибробетонных конструкций. М. : Департамент строительства ; Научно-техническое управление ; НИЦ «Строительство», 1997.

За критерий оценки эффективности дисперсного армирования принят коэффициент вариации прочности при изгибе. Для составов 1, 2 коэффициент вариации равен 9,5; 8,5 %.

Введение полиамидной фибры способствует снижению усадочных деформаций и трещин, а также повышению прочности бетона при растяжении [Ц:П:К = 1:0,45:0,45]  $R_{изг} >$  на 10 %.

Характер разрушения фибробетона образцов более пластичный. При разрушении образцов ПВ волокнами испытания на  $R_{сж}$  и  $R_{раст}$  установлено, что сцепление волокон с цементно-песчаной матрицей не является равномерным, аналогично ПА волокнам.

Структура цементного камня с модифицированной фиброй в виде полиамидных волокон (отходы капроновых изделий) выявила меньшее количество микротрещин по сравнению с другими образцами с модифицированными добавками.

Таблица 3

*Физико-механические характеристики пенофибробетона  
в зависимости от вида модифицированной фибры*

№	Вид образца	Ц, кг	Заполнитель		В/т	Фибра, $L = 12$ м, кг	Модификатор - раствор (вода, жидкое стекло, гашеная известь)	Предел прочности, МПа			
			П, кг	К, кг				При сжатии		При изгибе	
								7	28	7	28
1	ФПБпм	4,5	7,65		0,44	0,016	1:0,3:0,06	3,2	4,1	0,9	0,9
	ФПБКм	4,5	7,65		0,32	0,016		2,4	3,8	0,9	0,9
	ФПБтм	4,5	7,65		0,27	0,016		2,4	3,6	0,9	0,9
2	КФПБпм	4,5	2,0	2,0	0,39	0,016		3,0	3,57	0,9	0,9
	КФАБКм	4,5	2,0	2,0	0,34	0,016		8,2	9,8	0,93	0,93
	КФПБтм	4,5	2,0	2,0	0,24	0,016		2,8	3,2	0,9	0,9

Введение модифицированной фибры привело к повышению скорости набора прочности образцов до 30 % и увеличению прочности при сжатии от 28 до 40 % по отношению к контрольным образцам и образцам с обычной фиброй (табл. 2).

Для определения теплопроводности были изготовлены образцы по ГОСТ 7076—99<sup>13</sup> размерами 100 × 100 × 100 мм для исследуемых составов. Теплопроводность определялась для контрольного образца ПБ и образцов с модифицированной фиброй методом стационарного потока на электронном измерителе теплопроводности ИТП МГ-4 на образцах, высушенных в сушильном шкафу при температуре 110 °С до постоянной массы. Перед испытанием образцы выдерживались в помещении лаборатории «Эксплуатационная надежность строительных материалов и конструкций» в течение двух часов (табл. 4).

<sup>13</sup> ГОСТ 7076—99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. М. : МНТСК, 1999.

Т а б л и ц а 4

Составы

№	Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, $\lambda_{\text{сух}}$ , Вт/м °С	Класс бетона	
				В	Вt
1	ПБ	1300	0,22	В3,5	В7,5
2	КПБ	1150	0,38	В7,5	В7,5
3	ФПБпм	1350	0,215	В3,5	В10
4	ФПБКм	1300	0,216	В3,5	В10
5	ФПБтм	1350	0,25	В3,5	В10
6	КФПБпм	1150	0,37	В3,5	В10
7	КФАБКм	1250	0,37	В10	В10
8	КФПБтм	1250	0,38	В3,5	В10

Введение в смесь модифицированной полиамидной фибры (на основе отходов капроновых изделий) в оптимальной дозировке и заполнителя в виде керамзитовой сухой смеси привело к получению легкого бетона класса прочности при сжатии В10, в то время как контрольные образцы из пенобетона и керамзитопенобетона имели класс бетона по прочности при сжатии В3,5—7,5. Таким образом, контрольные образцы из ПБ и КПБ имели хрупкое разрушение, при этом разрушение образцов с фиброй, модифицированных жидким стеклом и известью, имело пластичный характер. Прочность при сжатии (состав Ц:П:К = 1:0,45:0,45) в возрасте 28 суток составила 9,8 МПа, что на 40 % выше прочности контрольных образцов ПБ и КПБ, а при изгибе в возрасте 28 суток твердения составила 1,01 МПа, что на 10 % выше прочности контрольных образцов ПБ и КПБ.

**Выводы:**

1. Установлены оптимальная последовательность введения компонентов фибры в пенобетонную смесь и режимы перемешивания, при которых обеспечивается равномерное и однородное распределение волокон ПА и ПВ по объему цементно-песчаной матрицы.

2. Установлены влияния волокон различных составов на технологические свойства; оптимальные значения водотвердых отношений от 0,26 до 0,3 для обеспечения максимальных прочностных показателей; прочности при сжатии до 5,8 МПа; прочности при изгибе 0,9 МПа.

3. Установлено, что армированный модифицированными волокнами неавтоклавный пенобетон воспринимает более высокие напряжения, чем неармированный. Разрушение образцов носит пластичный характер по сравнению с хрупким разрушением неармированного пенобетона.

4. Установлено, что использование модификатора для фибры увеличивает адгезию волокон к цементно-песчаной матрице, поверхность образцов с фиброармированием гладкая и не имеет структурных изменений и повреждений по сравнению с контрольными образцами без фиброармирования, поверхность таких образцов рыхлая и пористая.

5. Использование модифицированной фибры ПА и ПВ оказывает направленное воздействие на структурообразование неавтоклавного пенобетона, что позволяет улучшить прочностные характеристики. Рациональный

подбор компонентов и модифицированной фибры ПА и ПВ позволил получить неавтоклавный пенобетон с улучшенными прочностными характеристиками: предел прочности при сжатии с модифицированными волокнами составил от 3,2 МПа до 9,8 МПа (рост прочности до 40 %), предел прочности на растяжение при изгибе от 0,8 МПа до 0,93 МПа (рост прочности на 16 %).

6. Результаты испытаний теплопроводности показали, что средняя прочность теплоизоляционного фибропенобетона должна быть не менее 0,22 Вт/м °С. Исследуемые составы с модифицированной фиброй показали достаточную теплопроводность для применения в ограждающих конструкциях в пределах  $\lambda_{\text{сух}} = 0,25 \dots 0,38$  Вт/м °С.

7. Полученные классы бетона при сжатии В7,5—10 при средней плотности 1000...1200 кг/м<sup>3</sup> могут быть рекомендованы для применения в гражданском строительстве для возведения зданий и сооружений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Brady K. C., Watts G. R. A., Jones M. R.* Specification for Foamed Concrete. UK : Highway Agency, 2001. 65 p.
2. *Ramamurthy K., Nambiar E. K. K., Ranjani G. I. S.* A classification of studies on properties of foam concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2009. Vol. 31. № 6. Pp. 388—396.
3. *Richard O., Ramli M., Al-Shareem K. M.* Experimental production of sustainable lightweight foamed concrete // *Applied Science & Technology*. 2013. Vol. 3. № 4. Pp. 1—12.
4. *Суворов И. О.* Дисперсное полиармирование как способ снижения усадки фибропенобетона : дис... канд. тех. наук. СПб., 2017. 137 с.
5. *Моргун В. Н., Талпа Б. В.* Влияние вида дисперсной арматуры на свойства пенобетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 6. С. 48—49.
6. *Abbas A., Dawood E., Yahya M.* Properties of foamed concrete reinforced with hybrid fibres // *MATEC Web of Conferences*. 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201816202012.
7. *Berke N. S., Dallaire M. P.* The Effect of Low Addition Polypropylene Fibers and Plastic Shrinkage Cracking and Mechanical Properties of Concrete // *Fiberreinforced Concrete: Developments and Innovations*. Pp 19—42.
8. *Folliard K., Simpson B.* Low-volume polymeric fiber-reinforced concrete // *Fiber reinforced concrete: Present and Future*. Canadian Society for Civil Engineering, 1998. Pp 133—147.
9. *Kotteswaran D.* Study on Properties of Foam Concrete Using Fibers // *Research and Review*. 2018. № 5(5). Pp. 187—192.
10. *Van D.* Foam concrete // *Concrete*. 1991. Pp 49—54.
11. *Хонфф Г., Мюллер А., Венгер Ф.* Полиамиды / Под ред. проф. А. Б. Пакшвера. М. : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1958. 447с.

© Голова Т. А., Магеррамова И. А., Андреева Н. В., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Голова Т. А., Магеррамова И. А., Андреева Н. В. Технология производства неавтоклавных пенобетонов, дисперсно армированных модифицированными волокнами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 126—135.

Об авторах:

**Голова Татьяна Александровна** — канд. техн. наук, заведующая кафедрой промышленного и гражданского строительства, Балаковский инженерно-технологический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. Российская Федерация, Саратовская область, г. Балаково, ул. Чапаева, 140; [emelyanova-tanya@mail.ru](mailto:emelyanova-tanya@mail.ru)

**Магеррамова Инна Александровна** — старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Балаковский инженерно-технологический институт — филиал На-

ционального исследовательского ядерного университета МИФИ. Российская Федерация, Саратовская область, г. Балаково, ул. Чапаева, 140; [innamag82@mail.ru](mailto:innamag82@mail.ru)

**Андреева Наталья Викторовна** — ассистент кафедры промышленного и гражданского строительства, Балаковский инженерно-технологический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. Российская Федерация, Саратовская область, г. Балаково, ул. Чапаева, 140; [andreevane@list.ru](mailto:andreevane@list.ru)

**Tatiana A. Golova , Inna A. Magerramova, Natalia V. Andreeva**

**Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University  
MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)**

## **PRODUCTION TECHNOLOGY OF NON-AUTOCCLAVED FOAM CONCRETE, DISPERSED REINFORCED WITH MODIFIED FIBERS**

The article considers the expediency of using synthetic fiber as reinforcing fibers (from nylon and fabric products) for foam concrete composites of non-autoclave hardening. The aim of the research is to experimentally determine the increase in compression and bending strength, the choice of technology for the introduction of fiber into the fiber-foam concrete matrix and the improvement of the performance characteristics of non-autoclaved structural foam concrete. The results of experimental studies of compressive strength, bending strength, thermal conductivity of fiber-reinforced concrete samples with modified synthetic fibers are presented. The effective formulations fiber-foam concrete with improved physical and mechanical characteristics. It was found that the technology of introduction of modified fiber led to an increase in compressive strength up to 40%, an increase in tensile strength at bending up to 16%

**Key words:** foam concrete, fiber-foam concrete, expanded clay concrete, synthetic fiber, waste of nylon and fabric products, organic fiber, physical and mechanical properties, technology of fiber modification.

### *For citation:*

Golova T. A., Magerramova I. A., Andreeva N. V. [Production technology of non-autoclaved foam concrete, dispersed reinforced with modified fibers]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 126—135.

### *About authors:*

**Tatiana A. Golova** — Candidate of Engineering Sciences, the Head of the Industrial and Civil Engineering Department, Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute). 140, Chapaeva Str., Balakovo, Saratov region, Russian Federation; [emelyanova-tanya@mail.ru](mailto:emelyanova-tanya@mail.ru)

**Inna A. Magerramova** — Senior lecturer of Industrial and civil construction Department, Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute). 140, Chapaeva Str., Balakovo, Saratov region, Russian Federation; [innamag82@mail.ru](mailto:innamag82@mail.ru)

**Natalia V. Andreeva** — Assistant of the Industrial and Civil Engineering Department, Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute). 140, Chapaeva Str., Balakovo, Saratov region, Russian Federation; [andreevane@list.ru](mailto:andreevane@list.ru)

УДК 666.975.2 620.193.41

**М. А. Гончарова<sup>а</sup>, Т. К. Акчурин<sup>б</sup>, А. А. Коста<sup>а</sup>**

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

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

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖАРОСТОЙКИХ ШЛАКОБЕТОНОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ВЫДЕРЖКЕ В АГРЕССИВНОЙ СУЛЬФАТНОЙ СРЕДЕ**

Представлены результаты исследований коррозионностойких шлакобетонов на заполнителях из литого шлакового щебня и шлаковой пемзы с коррозионностойкими тонкомолотыми добавками. Изучены физико-механические, коррозионные, деформативные свойства. Эффективность представленной работы заключается в уменьшении стоимости и дефицитности материалов для бетона, снижении трудозатрат при возведении конструкций, увеличении их долговечности в условиях действия агрессивной среды.

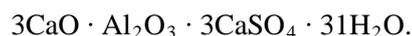
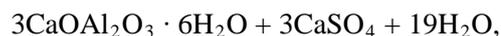
**Ключевые слова:** шлаковая пемза, литой шлаковый щебень, андезитовая мука, кремнегель, суперпластификатор, гидрат глинозема, коррозионностойкий шлакобетон, коррозионная стойкость, сульфатная агрессия, физико-механические свойства, подвижность бетонной смеси.

В исследованиях по данной теме предпринята попытка заменить шамотные заполнители на шлаковые, получаемые медленным охлаждением до полной кристаллизации доменного шлака в шлаковых ямах. Эти заполнители позволяют получить жаростойкие бетоны значительно более плотной структуры, а следовательно, более устойчивые к длительному воздействию агрессивной среды и повышенных температур.

Такая структура достигается благодаря улучшению взаимодействия на границе раздела фаз «заполнитель — вяжущее» за счет близости химико-минералогической природы составляющих бетона. Для повышения плотности и химической стойкости, а также прочности шлакобетонов в их состав вводились тонкомолотые и пластифицирующие добавки, снижающие водоцементное отношение без уменьшения удобоукладываемости бетонной смеси.

По литературным данным [1, 2], в этом случае в дымовых газах помимо азота содержатся  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и ионы  $\text{SO}_3^{2-}$ , взаимодействие которых с влагой воздуха приводит к образованию серной кислоты, являющейся наиболее агрессивной для бетонов на портландцементе, так как может вызвать сульфатную коррозию цементного камня в бетоне.

По данным отечественных ученых [3—5], эта коррозия происходит при взаимодействии трехкальциевого гидроалюмината ( $\text{C}_3\text{A}$ ) с сульфатами с образованием нерастворимого этtringита по реакции:



Накапливаясь в порах цементного камня, этtringит вначале повышает его плотность, а затем, увеличиваясь в объеме при кристаллизации, приводит к разрушению цементного камня.

Последующие исследования этого явления показали [6—8], что при снижении в цементе гидросиликатного кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  путем связывания его активными минеральными добавками (доменные шлаки, излившиеся горные породы, золы ТЭЦ), при твердении цементного камня в присутствии сульфатов образуется низкоосновной гидросульфоалюминат кальция, вызывающий увеличение объема. Это положение привело к получению новых видов цементов — гипсоцементнопуццоланового, расширяющегося, сульфосодержащего и др., не разрушающихся сульфатами.

В настоящих исследованиях это также было учтено, что позволило получить коррозионностойкие бетоны на портландцементе с использованием различных шлаковых заполнителей [9], а для увеличения коррозионной стойкости в составы шлакобетонов вводились кислотоупорные добавки (андезит) и пластификаторы.

Тем не менее при утверждении рекомендаций на эти бетоны авторы должны были доказать оппонентам, что шлакобетоны предлагаемых составов являются коррозионностойкими. Нами не обнаружено опыта строительства конструкций, работающих в условиях действия агрессивных газов, выполненных из жаростойкого бетона на портландцементе, ни в отечественной, ни в мировой литературе. Поэтому для окончательного решения спорных вопросов об условиях работы шлакобетона в конструкциях и их стойкости к действию газов, содержащих сернистые соединения, необходимы исследования в натуральных условиях, что возможно лишь при условии изготовления экспериментальной конструкции из шлакобетона для котельной, использующей в качестве топлива сернистый мазут.

Для исследований была изготовлена серия составов шлакобетонов с различным содержанием алюминатных тонкомолотых добавок. Изучено два вида алюмосодержащих добавок: алюминиевая пудра и тонкодисперсные отходы завода радиодеталей. Расход добавок в изученных составах находился в пределах от 0,1 до 10 % от массы цемента.

В исследовании представлены составы шлакобетонов с оптимальным расходом алюмосодержащих добавок, обеспечивающих наилучшие показатели физико-механических и химических свойств. Составы этих бетонов представлены в табл. 1, откуда видно, что оптимальный (основной) состав 1 включает комбинированный шлаковый заполнитель: песок из шлаковой пемзы и щебень — из литого шлака, который обеспечивает более высокую прочность бетонов и коррозионную стойкость, являясь более плотным и практически полностью закристаллизованным.

В качестве добавок в этот состав введены андезитовая мука и суперпластификатор С-3, обеспечивающие высокую подвижность смеси. Расход алюминатных добавок в других составах равен 0,7 кг.

Одновременно с изучением влияния тонкомолотых алюмосодержащих добавок на коррозионную стойкость бетонов изучалась возможность использования в бетонах литого шлакового щебня фр. 5...20 мм, так как Новолипецкий металлургический комбинат поставляет литой шлаковый щебень этой фракции.

Результаты испытаний шлакобетонов представлены в табл. 2.

Из таблицы 2 видно, что наилучшие показатели имеет состав, содержащий в своем составе алюмосодержащий компонент — отходы завода радиодеталей.

Таблица 1

*Составы коррозионнотойких шлакобетонов*

Материалы	Расход материалов в кг на м <sup>3</sup> бетонной смеси в составах		
	1	2	3
Портландцемент М500	400	400	400
Тонкомолотая андезитовая добавка	300	300	300
Алюминиевая пудра	—	—	0,7
Алюминийсодержащие отходы	—	0,7	—
Шлаковая пемза фр. 0...5 мм	500	500	500
Литой шлаковый щебень фр. 5...10 мм	640	640	640
Вода	280	265	270
Пластифицирующая добавка С-3	0,6	0,6	0,6

Таблица 2

*Свойства коррозионнотойких шлакобетонов*

Наименование свойств бетонов	Единицы измерения	Показатели свойств в составах		
		1	2	3
Плотность бетонной смеси	кг/м <sup>3</sup>	2102	2109	2115
Плотность сухого бетона	кг/м <sup>3</sup>	1865	1875	1947
Предел прочности при изгибе	МПа	94,5	96,5	49,6
Предел прочности при сжатии	МПа	37,8	39,8	23,0
Коррозионная стойкость после выдержки в течение 360 суток в 2%-й серной кислоте		0,90	0,95	—
Водопоглощение	%	1,104	1,092	1,103

Алюмосодержащая тонкомолотая добавка в бетонах выступает как пластифицирующая добавка, тем самым снижая расход воды с 280 л до 265 л на м<sup>3</sup> бетона и повышая прочность на изгиб и сжатие.

Алюминиевая пудра и алюмосодержащие отходы уплотняют бетон, но при твердении происходит вспучивание, и такие бетоны имеют низкую коррозионную стойкость.

Предварительными расчетами и анализами газовой среды, образующейся при сжигании топлива, содержащего до 5 % серы, было установлено, что концентрация растворов сернистой и углекислот в конструкции РНЗ, а концентрация серной кислоты может быть не более 0,02 %. В лабораторных условиях шлакобетоны испытывались в растворах 2%-й серной кислоты, так как в такой концентрации серная кислота более агрессивна и действует практически на все виды материалов.

Для определения долговечности шлакобетонов в агрессивных условиях были изготовлены тридцать серий образцов бетонов размером 40 × 40 × 160 мм всех партий. Все образцы погружались в 2%-й раствор серной кислоты. Изменения массы и результат испытаний образцов бетонов представлены в табл. 3, 4. Построен график зависимости увеличения массы шлакобетонов от времени выдержки в 2%-м растворе серной кислоты (рис. 1).

Из рисунка 1 видно, что в первые 60 суток происходит равномерное увеличение массы бетонов, самое малое увеличение массы наблюдается у состава

ва 1, затем у состава 2 и самое большое нарастание массы наблюдается у состава 3. Это можно объяснить следующим: в составе 3 есть алюминиевая пудра, при твердении происходит вспучивание бетона и в нем наблюдаются тонкие трещины. Увеличение массы происходит за счет уплотнения бетона нерастворимыми продуктами взаимодействия кислот с компонентами цементного камня.

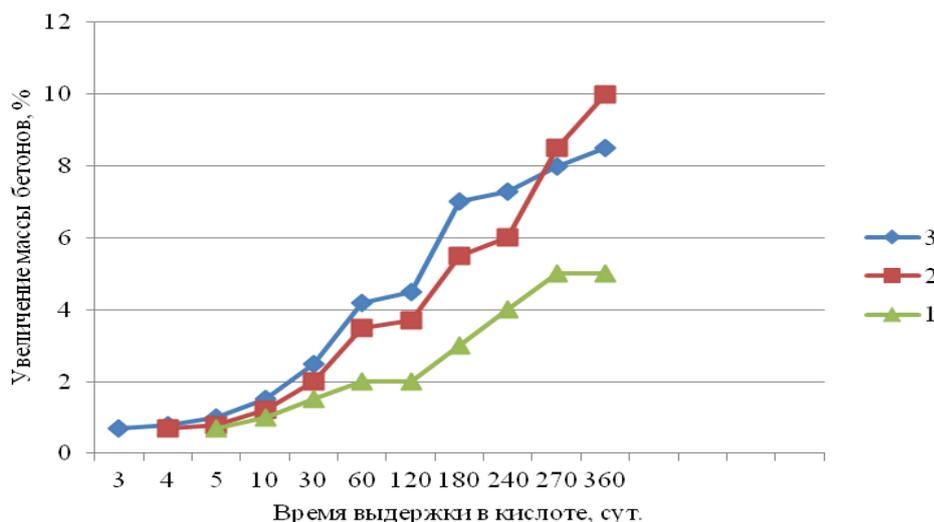


Рис. 1. Зависимость изменения массы шлакобетонов от времени выдержки в 2%-м растворе серной кислоты

Таблица 3

*Изменение массы образцов шлакобетонов после выдержки в 2%-м растворе серной кислоты в течение 360 суток*

Индекс образца	Масса образцов в нас. сост.	Масса образцов после выдержки в течение суток									
		1	3	5	10	30	60	90	180	270	360
1-1	521,47	526,70	527,44	528,54	530,50	533,360	536,200	536,40	543,335	552,10	553,7
1-2	552,10	553,76	555,20	556,22	558,20	561,760	564,70	564,90	577,27	583,20	585,51
2-1	535,52	538,46	539,22	540,90	543,54	549,380	555,50	556,20	569,39	587,20	589,20
2-2	518,64	519,22	519,74	521,40	524,02	530,200	535,90	537,30	549,50	570,01	574,01
3-1	566,60	567,62	570,40	570,50	573,50	580,400	587,00	588,10	599,40	606,40	608,21
3-2	470,80	472,72	475,70	477,10	480,20	486,080	493,50	494,90	506,10	515,04	517,30

Таблица 4

*Результаты испытаний шлакобетонов после выдержки в 2%-м растворе серной кислоты в течение года*

Индекс образца	Прочность на изгиб, МПа (в числителе) и на сжатие, МПа (в знаменателе) после выдержки в течение суток					
	30	60	90	180	270	360
1	8,86/38,0	8,77/36,8	8,59/36,8	8,41/35,5	8,32/34,8	8,14/31,0
2	8,72/43,9	8,71/40,2	5,52/38,7	8,43/36,5	8,37/33,2	8,36/32,4
3	6,54/30,2	6,52/28,8	6,40/28,8	6,20/25,4	6,20/23,6	6,10/21,5

Результаты определения кислотостойкости шлакобетонов после выдержки в 2%-м растворе серной кислоты представлены в табл. 5, откуда видно, что наибольшую кислотостойкость имеет состав 3 (с алюминиевой пудрой), но этот состав не может быть рекомендован, так как он дает низкую прочность при изгибе и при сжатии (М200) после испытаний на кислотостойкость. Бетоны составов 1 и 2 имеют практически одинаковую кислотостойкость, но образцы состава 2 (М400) по сравнению с 1 (М300) имеют более высокую прочность на изгиб и на сжатие. Поэтому бетон состава 2 рекомендуется использовать в конструкциях и принять заказчиком к внедрению.

Т а б л и ц а 5

*Кислотостойкость шлакобетонов после выдержки  
в растворе 2%-й серной кислоты в течение года*

Индекс образца	Прочность на изгиб, МПа (в числителе) и на сжатие, МПа (в знаменателе) после выдержки в течение суток					
	30	60	90	180	270	360
1	0,93	0,93	0,90	0,89	0,88	0,86
2	0,90	0,90	0,88	0,87	0,87	0,87
3	1,32	1,31	1,25	1,25	1,25	1,22

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штефан Г. Е., Гончарова М. А., Корнеев А. Д. Определение составов жаростойких шлакобетонов с помощью планирования эксперимента // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 1. С. 34—39.
2. Гончарова М. А., Бобоколонова О. В., Карасева О. В. Сухие огнеупорные смеси в конструкциях сталеразливочных ковшей и фурм для продувки газов // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 11—12. С. 20—25.
3. Гончарова М. А., Штефан Г. Е. Жаростойкие бетоны из боя шамотных огнеупоров с нанодобавками // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 6. С. 29—33.
4. Гончарова М. А., Штефан Г. Е., Корнеев А. Д. Влияние наполнителей на свойства жаростойких шлакопемзобетонов для тепловых агрегатов // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 4. С. 32—36.
5. Гончарова М. А., Штефан Г. Е. Жаростойкие бетоны из боя шамотных огнеупоров с нанодобавками // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 6. С. 29—33.
6. Гончарова М. А., Бобоколонова О. В., Карасева О. В. Сухие огнеупорные смеси в конструкциях сталеразливочных ковшей фурм для продувки газов // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 11—12. С. 9—14.
7. Гончарова М. А., Дергунов Н. Н., Саяхова И. О. Оптимизация составов жаростойких бетонов на основе шамотных техногенных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2015. № 11—12. С. 22—27.
8. Гончарова М. А., Бобоколонова О. В. Технология производства жаростойких бетонов с учетом опыта эксплуатации подпорных стен шлаковых траншей // Огнеупоры и техническая керамика. 2016. № 1—2. С. 28—33.
9. Хирис Н. С., Акчурин Т. К. Формирование внутренней структуры мелкозернистого бетона высокой плотности прочности при наполнении металлургическим шлаком и двухчасовом виброуплотнении // Вестник Волгогр. гос.archit.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35(54). С. 121—125.

© Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Коста А. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Коста А. А. Исследование коррозионной стойкости жаростойких шлакобетонов при длительной выдержке в агрессивной сульфатной среде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 136—141.

*Об авторах:*

**Гончарова Маргарита Александровна** — д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, Липецк, ул. Московская, 30, [Smidt48@mail.ru](mailto:Smidt48@mail.ru)

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

**Коста Антон Андреевич** — канд. архитектуры, доцент кафедры строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, Липецк, ул. Московская, 30

**Margarita A. Goncharova<sup>a</sup>, Talgat' K. Akchurin<sup>b</sup>, Anton A. Kosta<sup>a</sup>**

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

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

## RESEARCH OF CORROSION RESISTANCE OF HEAT-RESISTANT SLAS CONCRETE WITH A LONG-TERM EXPOSURE IN AN AGGRESSIVE SULFATE ENVIRONMENT

This article presents the results of studies of corrosion-resistant slag concrete on aggregates of cast slag crushed stone and slag pumice with corrosion-resistant finely ground additives. Physicomechanical, corrosion, deforming properties are studied. The effectiveness of the presented work is to reduce the cost and scarcity of materials for concrete, reduce labor costs in the construction, increase their durability in an aggressive environment.

**Key words:** slag pumice, cast slag crushed stone, andesite flour, silica gel, superplasticizer, alumina hydrate, corrosion-resistant slag concrete, corrosion resistance, sulfate aggression, physical and mechanical properties, mobility of the concrete mixture.

*For citation:*

Goncharova M. A., Akchurin T. K., Kosta A. A. [Research of corrosion resistance of heat-resistant slas concrete with a long-term exposure in an aggressive sulfate 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], 2020, iss. 1, pp. 136—141.

*About authors:*

**Margarita A. Goncharova** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of of Building Materials and Road Technology Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Fedearion, [Smidt48@mail.ru](mailto:Smidt48@mail.ru)

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

**Anton A. Kosta** — Candidate of Architecture, Docent of Building Materials and Road Technology Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation

УДК 691.421.24

**В. А. Гурьева, А. А. Ильина**

*Оренбургский государственный университет*

### **ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ТЕРМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕХНОГЕННОГО СЕРПЕНТИНИТА КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ**

Исследованы особенности минералогического состава и структурно-фазовые изменения, происходящие в процессе обжига техногенного серпентинита на примере Халиловского горно-обогатительного комбината с целью производства на его основе изделий строительной керамики.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительная керамика, отход горно-обогатительного комбината, серпентинит, минералогический состав, структурно-фазовые изменения, обжиг.

В настоящее время для развития производства строительной керамики особую актуальность приобретает решение проблемы расширения местной сырьевой базы в результате использования техногенного сырья, одной из разновидностей которого являются попутные продукты горнорудной промышленности, содержащие магнезиальные силикаты.

В сложении массивов южной части и всего Урала в целом участвуют все разновидности ультраосновных пород, среди которых преобладают дуниты, серпентинизированные дуниты, серпентиниты и гарцбургиты. Разработка горнодобывающими предприятиями месторождений и добыча хрома, никеля, меди и других металлов в массивах ультрабазитов Урала сопровождается выемкой и складированием больших объемов вскрышных и вмещающих пород, составной частью которых являются магнезиальные силикаты: дуниты, оливиниты, серпентиниты и др. Формирование отвалов оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду как за счет нарушения землепользования, так и за счет вредного воздействия на экологическую обстановку в районах расположения месторождений.

Существующая на горнодобывающих предприятиях практика валового складирования пород, несоответствие параметров и структуры отвалов целесообразным мероприятиям рекультивации осложняют задачу восстановления нарушенных земель. Поэтому основой рационального использования недр является создание новых, более совершенных и экономически целесообразных технологий добычи полезных ископаемых и их переработки, в том числе пустой породы. Это позволит вовлечь в эксплуатацию в промышленных масштабах принципиально новые сырьевые ресурсы, содержащие силикаты магния, в том числе в производство строительной керамики.

Метаморфические преобразования гипербазитов Южного Урала в виде серпентинизации приводят к образованию на приповерхностном глубинном уровне гидросиликатного подтипа пород [1]. В центральной части Халиловского массива располагаются группы линзо- и жиллообразных тел хромита, никеля, кобальта, бокситов. Они контактируют с вмещающими ультрабазитами хлоритизированных и карбонитизированных аподунитов и апоперидо-

титов. Суммарные запасы природных силикатов магния данного типа в пределах массива практически не ограничены [2]. Исследователями выделяются три основных генетических типа серпентинитов [3, 4]:

- 1) являющиеся продуктом изменения ультрабазитов;
- 2) развитые по магнезиальным карбонатным породам;
- 3) образовавшиеся в коре выветривания.

Для Халиловского месторождения образование серпентина происходит в результате изменения ультрабазитов, характерной особенностью которого является серпентинизация дунитов с выделением в избытке оксида магния, который кристаллизуется в виде карбонатов [5]. Присутствие последних в исследуемых техногенных видах серпентинитов подтверждает то, что они являются продуктами изменения ультрабазитов.

Согласно рентгенографическому количественному фазовому анализу, серпентинитовое техногенное сырье содержит собственно серпентиновые минералы в количестве  $(83 \pm 7) \%$  (рис. 1).

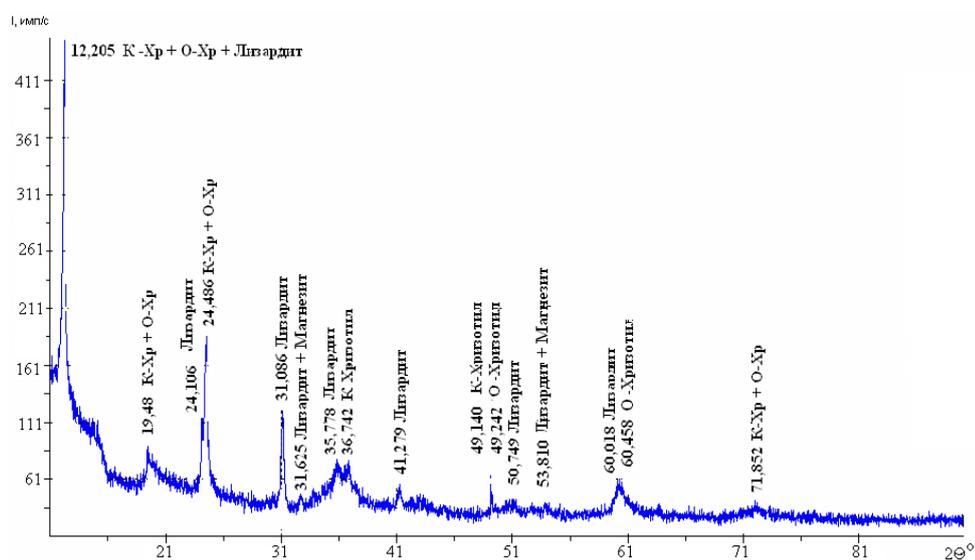


Рис. 1. Рентгенограмма техногенного серпентинита Халиловского массива

Для Халиловского месторождения образование серпентина происходит в результате изменения ультрабазитов, характерной особенностью которого является серпентинизация дунитов с выделением в избытке оксида магния, который кристаллизуется в виде карбонатов [5]. Присутствие последних в исследуемых техногенных видах серпентинитов подтверждает то, что они являются продуктами изменения ультрабазитов. Согласно рентгенографическому количественному фазовому анализу, выполненному ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» МПР России (г. Казань), серпентинитовое техногенное сырье содержит собственно серпентиновые минералы в количестве  $(83 \pm 7) \%$  (см. рис. 1).

Серпентиновые минералы представлены смесью хризотила и лизардита в соотношении, близком к 2:1. Пластинчатые листочки лизардита образуют сростки в виде вееров, розеток или беспорядочного расположения (рис. 2).

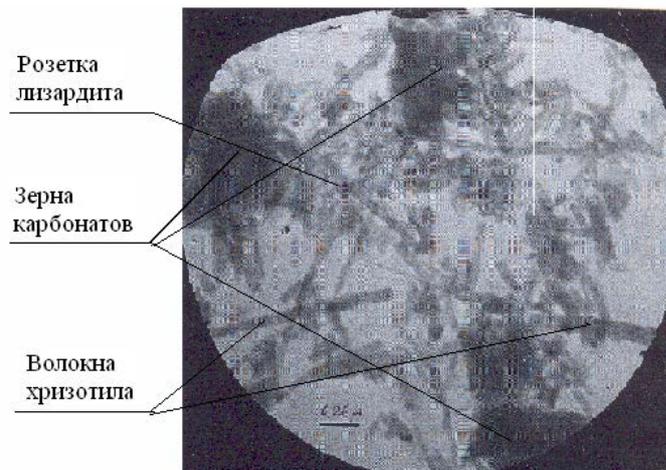


Рис. 2. Микроструктура в отраженном свете техногенного серпентинита Халиловского массива (Ч34 000)

Прожилки складываются из хризотиловой модификации серпентина. Здесь же пятнами, группами размещены криптокристаллические зерна карбонатов (доломита  $12 \pm 2$  %, магнезита  $5 \pm 1$  %).

Цвет породы изменяется от фиштакково-зеленого до серого, что связано с выносом железа при серпентинизации ультраосновных интрузий и отложением его в виде магнетита.

Соотношение минералов серпентина согласно результатам РФА позволяет предположить следующую последовательность их выделения в массивах ультрабазитов Оренбургской области: ультрабазит → пластинчатый лизардит → клиновидно-волоконистые разновидности хризотил-лизардитовые → волоконистые хризотиловые разновидности.

Химические составы отобранных проб техногенного продукта характеризуется высоким содержанием оксидов магния, кремния, низким содержанием оксида алюминия и оксидов железа, незначительным содержанием оксидов щелочных металлов и кальция. Температура огнеупорности техногенного серпентинита составляет  $1340...1360$  °С.

На термограмме экспериментального серпентинитового сырья, представленной на рис. 3, отчетливо видны следующие термические эффекты: в области нагрева от  $20$  до  $1000$  °С фиксируются три эндотермических эффекта (очень слабые в интервалах температур  $80...130$  °С, соответствующий удалению адсорбционной воды из минералов, и  $830...900$  °С, интенсивный при  $600...800$  °С).

Установленная совокупность эффектов подтверждает то, что главными породообразующими минералами являются минералы из группы серпентинов: клино- и ортохризотилы и лизардит.

При нагревании в интервале  $600...900$  °С из серпентинов выделяется входящая в их состав конституционная вода, о чем свидетельствуют потери по массе, фиксируемые на кривой ТГ. Выделение воды происходит в два этапа: при  $600...800$  °С — основная часть ( $11,8$  %) и при  $800...900$  °С — оставшаяся часть ( $0,4$  %).

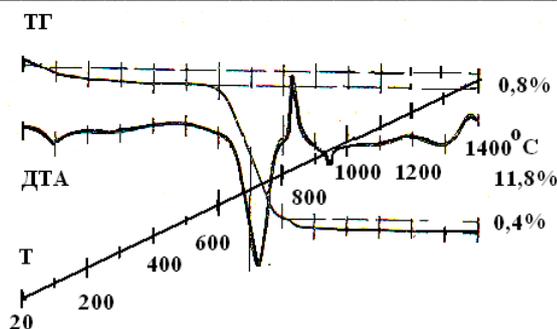


Рис. 3. Дериватограмма техногенного серпентинита Халиловского ГОКа: ТГ — кривая потери массы; ДТА — дифференциально-термическая кривая; Т — кривая нагрева

Количество выделяющейся на первом этапе воды (менее 12 %) и ступенчатый переход на термограмме от эндоэффекта к экзоэффекту в интервале 780...810 °С указывает на присутствие труднораспушивающихся на волокна жильных серпентинов с клинохризотиловой структурой [6].

На несовершенство структуры хризотилых минералов техногенного сырья указывает также расширение интервала эндотермического эффекта от 620 до 810 °С, в то время как для хризотилых нормальной прочности данный эффект наблюдается в более узком интервале 680...780 °С [7].

Выделение химически связанной воды сопровождается разрушением структуры исходных минералов с одновременным удалением группы  $[\text{OH}]^{-1}$ . Анализ прокаленных проб техногенного серпентинита позволил установить то, что процесс начинается с перехода серпентина в оливин уже при 600 °С, разрушения структуры исходного сырья и далее из продуктов распада во время эндотермической реакции 600...740 °С образуется кристаллический форстерит  $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$  и в результате насыщения оливина кремнеземом — рентгеноаморфный энстатит  $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (рис. 4).

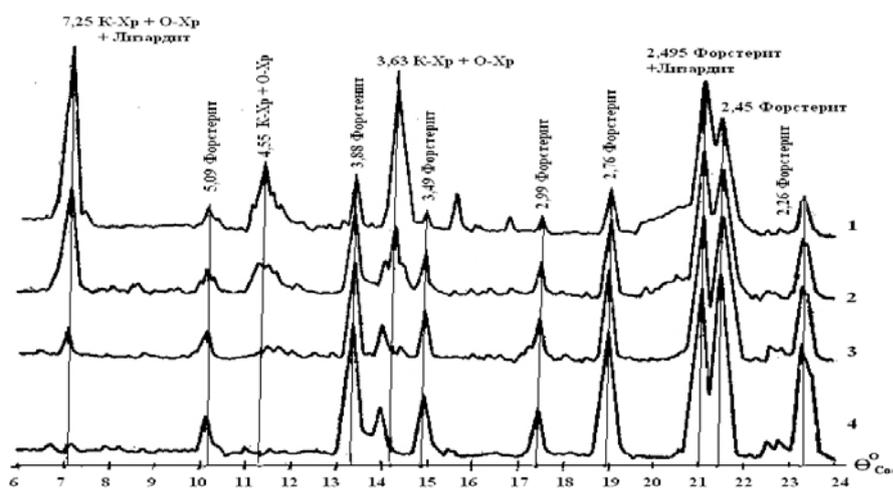


Рис. 4. Рентгенограммы продуктов обжига техногенного серпентинитового сырья Халиловского ГОКа: К-Хр — клино-хризотил; О-Хр — орто-хризотил; 1 — 730 °С; 2 — 760 °С; 3 — 790 °С; 4 — 820 °С

С увеличением температуры обжига до 790...820 °С усиливается раскристаллизация форстерита, что подтверждается ростом интенсивности его отражений на рентгенограмме. При дальнейшем нагревании этих образцов до температуры окончания экзотермической реакции 850 °С на рентгенограммах также фиксируются отражения форфорстерита и появляются отражения энстатита (рис. 5).

Тот факт, что экзотермический эффект на кривой ДТА для всех минералов группы серпентина обусловлен раскристаллизацией рентгеноаморфных фаз, подтверждает интенсивный характер экзотермического пика. Выделение второй части воды отражается на кривых ДТА слабым эндотермическим пиком, следующим за экзотермическим. Однако данный процесс отличается размытанием и наложением друг на друга интенсивной экзотермической реакции (810...850 °С) и слабой по интенсивности эндотермической, поэтому на термограмме данный пик не фиксируется, но отражается в потере по массе.

Такие превращения связаны со сложным составом изучаемого сырья и несовершенством структуры серпентиновых минералов.

В этом же диапазоне температур происходит диссоциация присутствующих в техногенном сырье магнезита (580...680 °С) и доломита (720...870 °С; 870...1000 °С). Поэтому на кривой ДТА появляется небольшой эндопик в последнем интервале температур, что согласуется с [8, 9]. При дальнейшем нагревании пробы материала определяются еще два слабых экзотермических пика (1110...1290 и 1300...1350 °С).

Во время второй экзотермической реакции происходит раскристаллизация рентгеноаморфного энстатита, который при дальнейшем нагреве до 1350 °С переходит в протоэнстатит (рис. 6).

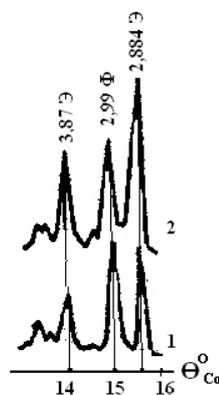


Рис. 5. Фрагмент рентгенограммы продуктов обжига техногенного серпентинитового сырья Халиловского ГОКа: Э — энстатит; Ф — форстерит: 1 — 850 °С; 2 — 1250 °С

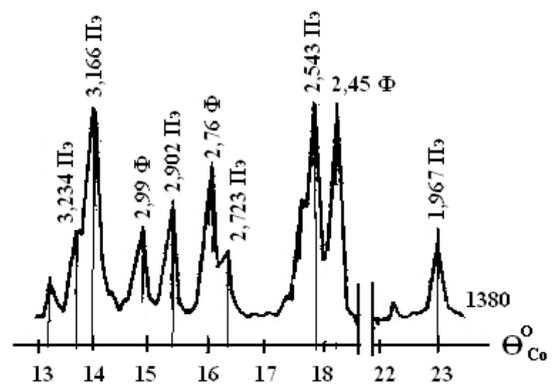


Рис. 6. Рентгенограмма продуктов обжига техногенного серпентинита Халиловского ГОКа: Пэ — протоэнстатит; Ф — форстерит

Данная реакция перехода из неравновесного состояния (аморфного) в равновесное (кристаллическое) должно отражаться на кривой ДТА эндотермическим эффектом. Однако данное явление в ходе дифференциально-термического анализа техногенного сырья не выявлено.

Следует предположить, что при этой температуре обжига происходит повторно эффект наложения двух реакций:

- 1) эндотермической, которая обусловлена полиморфным превращением ранее образовавшегося энстатита;
- 2) экзотермической, связанной с укрупнением кристаллов энстатита и кристаллизацией протоэнстатита.

Так как экзотермическая реакция протекает интенсивно, то эндотермический эффект на кривой ДТА отсутствует.

Переход энстатита в протоэнстатит при температуре свыше 1260 °С подтверждается работами [10, 11], согласно которым только при охлаждении протоэнстатит, предварительно прокаленный до 1400 °С, переходит в клиноэнстатит.

Таким образом, в ходе исследований установлено:

1. Степень выветрелости и серпентинизации техногенных ультрабазитовых пород указывают на их низкую твердость, что не осложнит тонкий помол сырья на этапе подготовки компонентов и не потребует установки дополнительного оборудования.

2. Процессы, происходящие в магнийсодержащем силикатном техногенном сырье при термической обработке от 500 до 1300 °С, свидетельствуют о его активном участии в процессах термического синтеза и структурообразовании изделий строительной керамики.

3. Присутствие акцессорных минералов щелочного и щелочеземельного состава указывает на их участие в образовании жидкой фазы в процессе обжига изделий, что способствует снижению температуры пирогенного синтеза.

Выявленные особенности минералогического состава и структурно-фазовые процессы, происходящие при обжиге техногенного серпентинита, доказывают целесообразность его вторичного вовлечения в производство керамических изделий на основе разработки инновационных ресурсосберегающих технологий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Варлаков А. С. Гипотеза образования расслоенных базит-гипербазитовых интрузий на примере Сарановского хромитовосного массива // Вестник отделения наук о земле РАН. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. 2002. № 1(20).
2. Савельев Д. Е., Сначев В. И., Романовской Г. В. К проблеме генезиса хромитового оруднения в гипербазитах альпинотипной формации // Вестник МГУ. 2006. № 6. С. 3—8.
3. Варлаков А. С. Серпентины ультраосновных пород Урала // Уральский минералогический сборник. Миасс : Ин-т минералогии УрО РАН. 1999. № 9. С. 78—101.
4. Варлаков А. С. Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1986. 224 с.
5. Варлаков А. С. Альпинотипные гипербазиты в районе к юго-западу от г. Миасса (Верхне-Иремельский массив и Узункырский пояс) // Уральский минералогический сборник. Миасс : ИМин УрО РАН. 2001. № 11. С. 201—225.
6. Иванова В. П., Москалева В. Н. О диагностике минералов группы гидроталькита в серпентинитах методом термического анализа // Термоаналитические исследования в современной минералогии. 1966. С. 91—105.
7. Креутнер Г. Критерии для классификации минералов группы серпентина при помощи дифференциального термического анализа // Геология и география. 1959. Т. 3. № 2. С. 265—277.
8. Atlas L. The polymorphism of  $MgSiO_3$  and solid-state equilibria in the system  $MgSiO_3$  —  $CaMgSi_2O_6$  // Geol. 1982. Pp. 125—147.

9. Foster W. R. High temperature X-ray diffraction study of the polymorphism of  $MgSiO_3$  // Amer. Ceram. Soc. 1981. Pp. 255—259.

10. Lange P., Koltermann M. Hochtemperatur — Röntgenuntersuchungen zur Frage des Umwandlungsverhaltens von Enstatit, Protoenstatit und Klinoenstatit // Neue Jahrbuch fr Miner. 1986. Hf. 5. Pp. 153—159.

11. Caillere S. Contribution a l'etudedes mineraux des serpentines // Bull. Soc. Franc. Miner. 1976. Pp. 163.

© Гурьева В. А., Ильина А. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Гурьева В. А., Ильина А. А. Особенности состава и термических изменений техногенного серпентинита как сырья для производства изделий строительной керамики // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 142—148.

Об авторах:

**Гурьева Виктория Александровна** — д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой технологий строительного производства, Оренбургский государственный университет (ОГУ). Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, 13, [victoria-gurieva@rambler.ru](mailto:victoria-gurieva@rambler.ru)

**Ильина Анастасия Алексеевна** — аспирант кафедры технологий строительного производства, Оренбургский государственный университет (ОГУ). Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр. Победы, 13, [ilyina.a06@gmail.com](mailto:ilyina.a06@gmail.com)

**Viktoriya A. Gur'eva, Anastasiya A. Il'ina**

**Orenburg State University**

## FEATURES OF COMPOSITION AND THERMAL CHANGES OF TECHNOGENIC SERPENTINITE AS RAW MATERIAL FOR PRODUCTION OF CONSTRUCTION CERAMICS

The features of mineralogical composition and structural-phase changes occurring in the process of firing, technogenic serpentinite on the example of Khalilov mining and processing plant for the production of building ceramics products on its basis are investigated.

**Key words:** construction ceramics, waste of mining and processing plant, serpentinite, mineralogical composition, structural and phase changes, firing.

*For citation:*

Gur'eva V. A., Il'ina A. A. [Features of composition and thermal changes of technogenic serpentinite as raw material for production of construction ceramics]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 142—148.

*About authors:*

**Viktoriya A. Gur'eva** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, the Head of Technology and Control in Construction Department, Orenburg State University. 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation, [victoria-gurieva@rambler.ru](mailto:victoria-gurieva@rambler.ru)

**Anastasiya A. Il'ina** — Postgraduate student of Technology and Control in Construction Department, Orenburg State University. 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation, [ilyina.a06@gmail.com](mailto:ilyina.a06@gmail.com)

УДК 625.855.32

**С. О. Казарян**

*Северо-Кавказский федеральный университет*

### **СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРИСТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Проведен анализ перспектив применения пористых порошковых минеральных материалов в качестве стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Исследовано взаимодействие высокодисперсного дробленного керамзитового порошка с битумным вяжущим. Установлена эффективность применения керамзитового порошка в качестве стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, позволяющей успешно решать проблему сегрегации смеси.

**Ключевые слова:** щебеночно-мастичный асфальтобетон, керамзитовый порошок, стабилизирующая добавка, дорожные покрытия, асфальтовяжущее.

Одним из наиболее перспективных материалов для устройства покрытий автомобильных дорог в настоящее время является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), обладающий следующими важными преимуществами в сравнении с традиционными плотными асфальтобетонами: повышенными водонепроницаемостью, трещиностойкостью, сдвигоустойчивостью и теплоустойчивостью, высокими износостойкостью и устойчивостью к старению. Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси (ЩМАС) отличаются повышенным содержанием битума и фракционированного щебня (порядка 70...80 % по массе), который должен обладать улучшенной (преимущественно кубовидной) формой зерен для создания максимально устойчивого каркаса в уплотненном слое покрытия. Крупный щебень образует жесткую каркасную структуру материала, что обеспечивает эффективную передачу нагрузок на нижележащие слои дорожной одежды.

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси приготавливают и транспортируют к месту укладки при повышенных температурах (порядка 160...170 °С). Укладка таких смесей осуществляется также при повышенных температурах — порядка 145...150 °С. При таких высоких технологических температурах повышенное содержание битума приводит к неизбежному расслоению смеси и стеканию вяжущего с поверхности каменного минерального материала. Кроме того, в процессе эксплуатации покрытий из ЩМА при определенных условиях создаются предпосылки к возникновению битумных пятен и колеиности, что снижает прочность, сдвигоустойчивость дорожных одежд и сокращает межремонтные сроки эксплуатации дорог. В таких условиях для обеспечения однородности щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и предотвращения негативных процессов, описанных выше, применяются стабилизирующие добавки. Наибольшее распространение для изготовления стабилизирующих добавок ЩМАС получили материалы на основе целлюлозы, асбеста, резины, полимеров. Одними из самых востребованных являются добавки на основе целлюлозы (около 90 % всех применяемых добавок). Они выпускаются как в виде волокон (TECHOCCEL), так и в виде гранул (Viator,

GENICEL, TOPCEL). Также при производстве ЩМА используют: ХРИЗОТОП — гранулы на основе асбеста; UNIREM — резиновый модификатор; DOLANIT — модификатор на основе высокопрочных акриловых волокон. Основной объем применяемых стабилизирующих добавок импортируется из-за рубежа. Высокая стоимость применяемых на сегодняшний день добавок актуализирует поиск новых эффективных и недорогих стабилизаторов для снижения стекаемости вяжущего в ЩМАС.

Отечественные и зарубежные ученые активно ведут исследования по разработке добавок, снижающих показатель стекания ( $B$ ) и повышающих качество щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. В настоящее время для удешевления стоимости щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей исследуются возможности введения в их составы различных отходов промышленности [1—4]. В работах [5, 6] в качестве стабилизирующих добавок для ЩМА предлагается использовать волокнистые отходы промышленности или картон. В последнее время появилось большое количество публикаций, посвященных исследованиям применения стабилизирующих добавок на основе резины и различных полимеров для модификации битумного вяжущего ЩМАС [7, 8] и др. Имеется ряд работ, в которых для улучшения свойств ЩМА предлагается использовать различные наномодификаторы смеси [9, 10].

Определенный интерес в настоящее время представляют битумо-минеральные композиции с применением высокопористых тонкодисперсных минеральных порошков. Согласно экспериментальным исследованиям, применение пористых порошков на основе керамзита, перлита, вермикулита в битумо-минеральных композициях позволяет повысить ряд физико-механических и эксплуатационных свойств. Так, в работах [11, 12] проанализировано влияние ряда пористых наполнителей на свойства асфальтовяжущих. Выявлено определяющее влияние пористости минеральных порошков на их структурирующую способность по отношению к битуму, и доказана эффективность использования пористых минеральных порошков с высоким содержанием кислотных центров для создания плотных структур асфальтобетонов. В работах [13—15] исследовано битумное вяжущее, модифицированное вспученным вермикулитом, вспученным перлитом и вулканическим пеплом. Полученные результаты указывают, что включение в состав асфальтовяжущего данных материалов повышает тепло- и трещиностойкость. Введение вспученного вермикулита в битум позволяет получить вяжущее с расширенным интервалом пластичности.

Анализ этих работ позволяет предположить, что применение тонкодисперсных пористых минеральных материалов в составах щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей может оказать положительное влияние на улучшение свойств асфальтовяжущего и позволит повысить сегрегационную устойчивость ЩМА-смесей, физико-механические и эксплуатационные свойства ЩМА.

В представленной работе рассмотрено влияние тонкодисперсного керамзитового порошка на структуру и свойства асфальтовяжущих щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, а также на их технологические параметры ЩМА-смесей, физико-механические, эксплуатационные и реологические показатели ЩМА различных марок.

В экспериментальных исследованиях использовали следующие материалы: щебень кубовидной формы из плотных горных пород, песок из отсевов дробления, активированный минеральный порошок, нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90, стандартные стабилизирующие добавки Viator-66, керамзитовый порошок. Высокодисперсный керамзитовый порошок получали путем измельчения керамзита марки 600 в лабораторной шаровой мельнице и отбором фракций менее 0,16 мм. Свойства керамзитового порошка следующие: удельная масса — 2,57 г/см<sup>3</sup>, удельная поверхность — 5280 см<sup>2</sup>/г, насыпная плотность — 0,88 г/см<sup>3</sup>, пористость — 36 %.

Влияние керамзитового порошка на свойства асфальтовяжущих оценивали по изменению показателей пенетрации и температуры размягчения асфальтовяжущего на основе смеси из битума, активированного известнякового минерального порошка и керамзитового порошка (при их оптимальном соотношении), и сравнивали со свойствами асфальтовяжущего на стандартном наполнителе (активированном известняковом минеральном порошке).

Результаты испытаний влияния керамзитового порошка на свойства асфальтовяжущих представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Свойства асфальтовяжущих*

Наименование показателя битума	Асфальтовяжущее ЩМАС	
	Битум БНД 60/90, активированный известняковый минеральный порошок	Битум БНД 60/90, активированный известняковый минеральный порошок, модифицированный керамзитовым порошком
Глубина проникания иглы, 0,1 мм: при 0 °С при 20 °С	20	20
	51	43
Температура размягчения по методу «Кольцо и шар» °С	68,5	77,4

Были проведены экспериментальные исследования возможности применения высокодисперсных отсевов дробления керамзита в качестве стабилизирующей добавки ЩМАС, а также определение их влияния на свойства ЩМА. Запроектированы и приготовлены смеси щебеночно-мастичных асфальтобетонов ЩМА-15, модифицированные керамзитовым порошком, который в оптимальном количестве вводился в составы ЩМА. Для сравнения испытывали образцы щебеночно-мастичных асфальтобетонов ЩМА-15 с использованием стандартных стабилизирующих добавок Viator-66. Испытания образцов исследуемых ЩМА проводились в соответствии с ГОСТ Р 31015—2002 и ГОСТ 12801—98.

Результаты испытаний физико-механических и эксплуатационных свойств ЩМА представлены в табл. 2.

С целью выявления особенностей напряженно-деформированного состояния ЩМА при различных эксплуатационных температурах были проведены реологические исследования предложенных составов (по известной методике

Я. Н. Ковалева). Испытывали цилиндрические образцы щебеночно-мастичных асфальтобетонов ЩМА-15 размерами 71,5 × 71,5 мм, модифицированных керамзитовым порошком. Для сравнения испытывали стандартные ЩМА со стабилизирующей добавкой Viator-66. Образцы подвергались испытанию на сжатие при различных температурах. Для расчета реологических характеристик измеряли геометрические параметры образцов (высоту и диаметр) до и после испытания, а также фиксировали предел прочности при сжатии. Скорость движения плиты пресса при испытании принимали  $v = 0,05$  см/с. В ходе экспериментальных исследований определяли следующие реологические параметры исследуемых ЩМА: коэффициент вязкости  $\eta_m$ , время релаксации  $\theta$ , время ретардации  $\tau$ , модули упругости  $E$ .

Т а б л и ц а 2

Свойства исследуемых ЩМА

Наименование показателя	ЩМА-15, модифицированные керамзитовым порошком	ЩМА-15 с добав- кой Viator-66	Значение показателя согласно ГОСТ 1015— 2002
Пористость минеральной части, %	16	15,8	15...19
Остаточная пористость, %	3,1	2,9	2,0...4,5
Водонасыщение, $W$ , % по объему	1,94	1,85	1,5...4,0
Коэффициент водостойкости, $k_v$	0,99	0,96	$\geq 0,9$
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $k_{вд}$	0,86	0,76	$\geq 0,75$
Показатель стекания вяжущего, $B$ , %	0,13	0,11	$\leq 0,2$
Предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, $R_p$ , МПа	6,18	5,69	3,0-6,5
Коэффициент внутреннего тре- ния, $\text{tg } \varphi$	0,97	0,94	$\geq 0,94$
Сцепление при сдвиге при темпе- ратуре 50 °С, $C_\tau$ , МПа	0,28	0,21	$\geq 0,2$
Предел прочности при сжатии, МПа:			
при 20 °С, $R_{20}$	4,97	4,3	$\geq 2,5$
при 50 °С, $R_{50}$	2,1	1,68	$\geq 0,7$

Результаты реологических испытаний ЩМА представлены в табл. 3.

Согласно полученным данным (см. табл. 1), включение в асфальтовяжущее высокодисперсного керамзитового порошка приводит к снижению показателя пенетрации и повышению температуры размягчения. Это обуславливается повышением вязкости и теплостойкости вяжущего, что может положительно повлиять на снижение стекаемости битума в ЩМАС.

Определяющим фактором, влияющим на увеличение вязкости асфальтовяжущего на основе высокопористых наполнителей, очевидно, является избирательная фильтрация легких компонентов битумного вяжущего (масел, ароматических углеводородов) в соизмеримые по размерам микропоры минерального материала.

Т а б л и ц а 3

*Реологические параметры ШМА*

Вид смеси	$T, ^\circ\text{C}$	$\eta, (\text{H}\cdot\text{c}/\text{cm}^2)\cdot 10^6$	$\theta, \text{c}$	$\tau, \text{c}$	$E, \text{МПа}$
Состав № 1	-10	183,87	9511,94	21,2	298,43
Состав № 2		145,53	6543,75	28,57	310,67
Состав № 1	0	134,85	6769,23	24,53	214,06
Состав № 2		126,82	6299,77	27,97	226,25
Состав № 1	20	37,37	5605,6	35,56	64,8
Состав № 2		47,67	5766,35	36,36	70,42
Состав № 1	35	14,24	3473,89	40,54	40,99
Состав № 2		22,07	4481,28	38,22	49,25
Состав № 1	50	5,0	2820,0	62,9	20,0
Состав № 2		6,18	3558,7	64,34	20,7
Состав № 1	60	4,72	2491,4	47,18	13,26
Состав № 2		5,45	2985,7	49,65	19,33

Состав № 1 — ШМА-15 с добавкой Viator-66.

Состав № 2 — ШМА-15, модифицированные керамзитовым порошком.

В результате избирательной фильтрации происходит структурное изменение органического вяжущего, изменение состава и количества различных по молекулярному весу и реакционной способности соединений, входящих в состав битума. Избирательная фильтрация обуславливает повышение концентрации в вяжущем более тяжелых и активных компонентов битума, таких как асфальтены и смолы, а также наиболее активных соединений: асфальто-геновых кислот и их ангидридов. Это определяет изменение структуры и свойств битума и, соответственно, асфальтовяжущего, при этом повышаются физико-химическая и химическая активность на границе раздела фаз битум — минеральный материал. Кроме того, повышенная удельная поверхность и развитая пористость керамзитового порошка также могут способствовать обеспечению высокой сорбирующей способности.

В результате исследований физико-механических и эксплуатационных свойств ШМА установлено, что пористость минеральной части, остаточная пористость и водонасыщение исследуемых ШМА полностью соответствуют требованиям ГОСТ. Водонасыщение  $W$  модифицированных керамзитовым порошком ШМА, характеризующее открытую пористость материала, несколько выше, чем у стандартных составов, и также отвечает нормативным требованиям.

Водостойкость оценивали по коэффициентам водостойкости  $k_v$  и коэффициентам водостойкости при длительном водонасыщении  $k_{вд}$ . Показатели водостойкости ШМА с предложенной добавкой (см. табл. 2) значительно превышают аналогичные показатели для ШМА с добавкой Viator-66. Следует отметить, что на повышение водостойкости положительно влияет применение более высокомолекулярного минерального заполнителя в составе ШМАС.

Применение керамзитового порошка эффективно влияет на стабильность исследуемых ШМА-смесей. Показатели стекаемости ( $B$ ) модифицированных смесей хотя и несколько выше аналогичных показателей смесей со стандартной добавкой Viator-66, но полностью соответствуют требованиям стандарта.

Анализируя полученные данные (см. табл. 2), необходимо отметить, что включение в состав ЦМА-смесей керамзитового порошка способствует повышению прочности ( $R_{20}$ ) и теплостойкости ( $R_{50}$ ) ЦМА. Также стоит отметить повышенные показатели трещиностойкости и сдвигоустойчивости модифицированных ЦМА, что обусловлено особенностями физико-химического взаимодействия органического вяжущего с пористым материалом. На повышение трещиностойкости ЦМА также оказывает влияние некоторое снижение внутренних температурных напряжений в результате применения пористых порошковых материалов.

При использовании в составе модифицированных ЦМАС более высоко-модульного крупного минерального заполнителя обеспечивается более высокое сопротивление сдвиговым деформациям получаемого покрытия, что отражается в увеличении коэффициента внутреннего трения и повышении показателя сцепления при сдвиге.

Согласно полученным данным, ЦМА-15, модифицированные керамзитовым порошком при низких температурах, обладают меньшей вязкостью и меньшим временем релаксации напряжений, чем составы со стабилизирующей добавкой Viatop-66. Следовательно, модифицированные составы при отрицательных температурах обладают большей деформативностью, меньшей хрупкостью, то есть более трещиностойки.

Выявлено, что при высоких эксплуатационных температурах вязкость ЦМА-15, модифицированных керамзитовым порошком, выше, чем у стандартных составов ЦМА-15. При повышении вязкости асфальтобетона увеличивается его теплостойкость и сдвигоустойчивость. Время релаксации напряжений модифицированных ЦМА выше, чем у стандартных составов, следовательно, снижается вероятность появления пластических деформаций при высоких эксплуатационных температурах.

Изменение структуры битума в ЦМАС за счет введения керамзитового порошка обеспечивает повышение структурно-механических характеристик материала, в частности: увеличение модуля упругости  $E$  и некоторое снижение деформативности ЦМА при эксплуатационных температурах.

В результате проведенных исследований асфальтовяжущих ЦМА выявлено, что применение керамзитового порошка в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях позволяет эффективно сорбировать битумное вяжущее в смеси, что дает возможность использовать предложенный материал в качестве стабилизирующей добавки.

Исследованиями физико-механических и эксплуатационных свойств ЦМА установлено, что включение керамзитового порошка в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси способствует повышению прочности, теплостойкости и водостойкости. Наличие высокодисперсных отсеков дробления пористого наполнителя в ЦМАС снижает внутренние температурные напряжения материала дорожного покрытия и тем самым способствует повышению трещиностойкости и морозостойкости.

Анализ исследований реологических характеристик щебеночно-мастичных асфальтобетонов выявил следующее: при отрицательных эксплуатационных температурах ЦМА, модифицированные керамзитовым порошком, обладают более высокой трещиностойкостью и низкой хрупкостью по сравнению со стандартными ЦМА со стабилизирующей добавкой Viatop-66, а при

высоких эксплуатационных температурах — имеют повышенную сдвигоустойчивость, теплостойкость и сопротивление к возникновению пластических деформаций. Таким образом, можно сделать следующий вывод: структура разработанных модифицированных ЦМА в зависимости от напряженно-деформированного состояния оптимально сочетает максимальную жесткость при трехосном сжатии и сдвиге и одновременно максимальную податливость и высокую деформативность при растяжении. Указанные реологические свойства асфальтобетона особенно важны для обеспечения сдвигоустойчивости, трещиностойкости и долговечности дорожных покрытий в условиях реального напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев дорожных покрытий при эксплуатации.

Кроме того, одним из важных аспектов проведенного исследования является и тот факт, что возможность замены дорогостоящих зарубежных стабилизирующих добавок на предложенные на основе местных пористых минеральных материалов будет способствовать снижению стоимости щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, что в сложившейся сложной экономической ситуации в России и с учетом проводимой против нашей страны международной санкционной политики будет способствовать решению задач по импортозамещению в очень материалоемкой отрасли — индустрии производства дорожно-строительных материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt / E. Ahmadinia, M. Zargar, M. Karim, M. Abdelaziz, P. Shafiqh // *Materials & Design*. 2011. Vol. 32. Pp. 4844—4849.
2. Karakuş A. Investigating on possible use of Diyarbakir basalt waste in Stone Mastic Asphalt // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. Pp. 3502—3507.
3. Performance evaluation of utilization of waste Polyethylene Terephthalate (PET) in stone mastic asphalt / E. Ahmadinia, M. Zargar, M. Karim, M. Abdelaziz, E. Ahmadinia // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 36. Pp. 987—989.
4. Fernandes S., Silva H., Oliveira J. Recycled stone mastic asphalt mixtures incorporating high rates of waste materials // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 187. Pp. 1—13.
5. Ядыкина В. В., Куцына Н. П. Применение волокнистых отходов промышленности в производстве щебеночно-мастичных асфальтобетонов // *Строительные материалы*. 2007. Вып. № 5. С. 28—29.
6. The Influence of Stabilizing Additives on Physical and Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt Concrete / V. Yadykina, S. Tobolenko, A. Trautvain, A. Zhukova // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 367—381.
7. Nguyen H., Tran T. Effects of crumb rubber content and curing time on the properties of asphalt concrete and stone mastic asphalt using dry process // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2018. Vol. 11. Pp. 236—244.
8. Liphardt A., Król J., Radziszewski P. Influence of Polymer Modified Binder Content from RAP on Stone Mastic Asphalt Rutting Resistance // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. Pp. 407—413.
9. Chelovian A., Shafabakhsh G. Laboratory evaluation of Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> effect on dynamic performance of stone mastic asphalt // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 10. Pp. 131—138.
10. Evaluation the effects of nanoclay on permanent deformation behavior of stone mastic asphalt mixtures / M. Ameri, R. Mohammadi, M. Vamegh, M. Molayem // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 156. Pp. 107—113.
11. Высоцкая М. А., Кузнецов Д. К., Федоров М. Ю. Оценка качества битумо-минеральных композитов с применением пористых // *Дороги и мосты*. 2012. Вып. № 27. С. 241—250.
12. Высоцкая М. А., Кузнецов Д. К., Барабаш Д. Е. Особенности структурообразования битумо-минеральных композиций с применением пористого сырья // *Строительные материалы*. 2014. Вып. № 1—2. С. 68—71.

13. Дорожные композиты на основе дисперсного вспученного перлита / А. М. Гридчин, А. П. Коротаев, В. В. Ядыкина, Д. А. Кузнецов, М. А. Высоцкая // *Строительные материалы*. 2009. Вып. № 5. С. 42—44.

14. Влияние дисперсности вспученного вермикулита на свойства битумного вяжущего и асфальтобетона / Л. Е. Свинтицких, Т. Н. Шабанова, А. А. Ключов, В. Н. Агейкин // *Строительные материалы*. 2004. Вып. № 9. С. 32—33.

15. Liu X., Zhang M., Shao L., Chen Z. Effect of volcanic ash filler on thermal viscoelastic property of SBS modified asphalt mastic // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 90. Pp. 495—507.

© Казарян С. О., 2020

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Казарян С. О. Стабилизирующие добавки для щебеночно-мастичных асфальтобетонов на основе высокодисперсных пористых минеральных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 149—156.*

*Об авторе:*

**Казарян Самвел Оганесович** — старший преподаватель кафедры строительства, Северо-Кавказский федеральный университет. Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, sam23otr@mail.ru

**Samvel O. Kazaryan**

**North-Caucasus Federal University**

## **STABILIZING ADDITIVES FOR CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE BASED ON HIGHLY DISPERSED POROUS MINERAL MATERIALS**

Analysis of research of prospects of use of porous powder mineral materials as stabilizing additives for crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures was carried out. Interaction of fine crushed ceramsite powder with bitumen binder is investigated. Efficiency of application of ceramsite powder as stabilizing additive for crushed stone-mastic asphalt concrete is established, which allows to successfully solve the problem of mixture segregation.

**Key words:** stone-mastic asphalt concrete, expanded clay powder, stabilizing additive, road pavement, asphalt binder.

*For citation:*

Kazaryan S. O. [Stabilizing additives for crushed stone-mastic asphalt concrete based on highly dispersed porous mineral materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 149—156.

*About author:*

**Samvel O. Kazaryan** — Senior Lecturer of Construction Department, North-Caucasus Federal University. 1, Pushkina st., Stavropol, 355017, Russian Federation, sam23otr@mail.ru

УДК 691.5

**В. И. Логанина, Е. И. Куимова**

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

## **ОЦЕНКА ПОЛНОТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Приведены сведения о полноте контроля качества строительных материалов на примере керамического кирпича. Полнота контроля вычислялась в виде процента контролируемых параметров. Показано, что при приемосдаточных испытаниях полнота контроля керамического кирпича марки 100 составляет 46,7...48,3 %. Это подтверждает требования ГОСТ 530—2012 о проведении проверок показателей (внешний вид, размеры, отклонения от номинальных размеров и формы, предел прочности при сжатии и изгибе, среднюю плотность) при приемосдаточных испытаниях. Можно исключить проверку ширины кирпича, что позволит несколько снизить трудоемкость проведения контроля.

**Ключевые слова:** достоверность и полнота контроля, неисправность, кирпич керамический, приемосдаточные испытания.

При контроле качества строительных материалов в соответствии с действующей нормативной документацией проводят определение контролируемых параметров и сравнивают их с допускаемыми значениями. Если хотя бы один из результатов измерений находится вне границ заданного для него допуска, то продукция считается бракованной [1—3].

Важным показателем, характеризующим достоверность контроля, является полнота контроля. Полнота контроля — составляющая методической достоверности контроля технического состояния изделия, характеризующая возможность выявления отказов в этом изделии при выбранном методе контроля его технического состояния [4—7]. Количественная оценка полноты контроля определяется из соотношения [8]:

$$V_k = \frac{N_k}{N}, \quad (1)$$

где  $N_k$  — количество контролируемых параметров;  $N$  — общее число параметров объекта.

Так, в соответствии с ГОСТ 530—2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» качество изделий подтверждают приемочным контролем готовых изделий. Приемочный контроль включает в себя приемосдаточные и периодические испытания. Общее количество контролируемых показателей при испытании керамического кирпича составляет 12, при приемосдаточных — 5, при периодических — 7. Следовательно, при приемосдаточных испытаниях оценка полноты контроля составляет 0,416, а при периодических испытаниях — 0,58.

Полнота контроля вычисляется также в виде процента контролируемых параметров по формуле [9—12]:

$$\Pi_1 = \left[ \frac{G - G_1}{G} \right] 100 \%, \quad (2)$$

где  $G$  — число всех рассматриваемых параметров;  $G_1$  — число непроверяемых параметров.

С увеличением сложности объекта контроля обычно возрастает число условно проверяемых параметров. При их наличии для оценки полноты контроля дополнительно применяют еще две формулы:

$$\Pi_2 = \left\{ \frac{\left[ G - \left( G_1 + \sum_{k=1}^{G_2} m_k \right) \right]}{G} \right\} 100 \%, \quad (3)$$

$$\Pi_3 = \frac{G - (G_1 - G_2)}{G} 100 \%, \quad (4)$$

где  $G_2$  — число условно проверяемых показателей;  $m_k$  — вероятность непроверки  $k$ -го параметра из числа условно проверяемых.

Фактически оценки  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  дают верхнюю и нижнюю границы возможных значений полноты проверки. Значение  $\Pi_2$  ( $\Pi_3 < \Pi_2 < \Pi_1$ ) определяется с учетом вероятностей непроверки условно проверяемых параметров. При большом числе условно проверяемых неисправностей  $\Pi_2$  может стать основной оценкой.

Разные образцы вследствие технологического разброса при их изготовлении характеризуются некоторым полем рассеивания (интервалом значений) показателей качества. Значения нижней и верхней границ такого интервала  $k$ -го контролируемого параметра при  $i$ -й проверке годного изделия обозначим  $a_{0k}^i$  и  $b_{0k}^i$ , для изделия с возможной дефектностью  $W_k$  —  $a_k^i$  и  $b_k^i$ . Очевидно, что поле допуска для проверки контролируемого параметра  $W_k$  должно включать, по крайней мере, часть интервала  $[a_{0k}^i, b_{0k}^i]$ .

Полагаем, что для проверяемого параметра показатель полноты контроля  $m_k = 0$ , для непроверяемого —  $m_k = 1$ , тогда для условно проверяемого параметра  $0 < m_k < 1$ .

Для условно проверяемого параметра на  $i$ -й проверке вероятность непроверки  $k$ -го параметра может быть определена по формуле:

$$m_k^i = \int_a^b f(x) dx,$$

где  $f(x)$  — функция плотности вероятности значений  $W_k$ ;  $a$  и  $b$  — нижняя и верхняя границы области общих значений для годных и дефектных изделий.

Интеграл в формуле берется по области значений, которые являются общими для исправного и неисправного технических состояний. Фактически значение  $m_k^i$  есть вероятность того, что при наличии в объекте контроля дефектности результат измерения попадет в интервал  $[a, b]$ .

Пусть теперь выполняется несколько проверок и измеряется несколько контролируемых параметров. Если предположить, что значения не коррелированы, то  $m_k = \prod_{i,k} m_k^i$ .

Определение функции  $f(x)$ , как правило, сопряжено со значительными трудностями. Чаще всего контролируемые параметры являются нормально распределенными случайными величинами с математическим ожиданием, совпадающим с номинальным значением  $\bar{x}$  и заданным средним квадратическим отклонением  $\sigma$ . Предельно допустимое отклонение от номинального значения  $\pm 3\sigma$ . Тогда:

$$m_k^i = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Вычисления  $m_k$  значительно упрощаются, если допустить, что имеет место равномерный закон распределения. В этом случае значение  $m_k^i$  есть отношение длины интервала значений, общих для технических состояний «годен» и «не годен», к длине интервала поля рассеивания при наличии дефектности, например:

$$m_k^i = \frac{b_{0k}^i - a_k^i}{b_k^i - a_k^i}.$$

Оценим полноту контроля на примере керамического кирпича с применением формул (2—4). В соответствии с ГОСТ 530—2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» качество изделий подтверждают приемочным контролем готовых изделий. Приемочный контроль включает в себя приемо-сдаточные и периодические испытания. При приемо-сдаточных испытаниях определяют внешний вид, размеры, отклонения от номинальных размеров и формы, предел прочности при сжатии и изгибе, среднюю плотность, а при периодических испытаниях — эти же показатели, исключая среднюю плотность, и дополнительно наличие известковых включений, водопоглощение, скорость начальной адсорбции воды, морозостойкость, пустотность, удельную эффективную активность естественных радионуклидов. Рассмотрим полноту контроля при приемо-сдаточных испытаниях кирпича КР-р-по 250 120 65/1НФ/100/2,0/50/ГОСТ 530—2012.

По результатам приемо-сдаточных испытаний получены следующие результаты (табл. 1).

Результаты расчета оценки полноты контроля показателей качества кирпича приведены в табл. 2, 3.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что показатель полноты контроля для ширины кирпича составляет  $m_k = 1$ , т. е. при приемо-сдаточных испытаниях этот показатель можно исключить.

Таким образом, в рассматриваемом случае  $G = 7$ , число непроверяемых параметров  $G_1 = 1$ , число условно проверяемых параметров  $G_2 = 5$ .

Используя ранее вычисленные значения  $m_k$  для условно проверяемых параметров, определим значение полноты контроля по формуле (3). Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 1

Значения показателей качества кирпича при приемо-сдаточных испытаниях

Параметры	Нормативный интервал	Проверки					
		1	2	3	4	5	6
$R_{сж}$	100...125	102...120	100...115	95...129	108...121	105...129	108...128
$R_{изг}$	2,2...2,5	2,1...2,4	2,2...2,6	2,3...2,5	1,9...2,5	2,1...2,4	2,1...2,3
Средняя плотность	1410...2000	1600...1800	1700...1900	1750...2000	1800...2100	1600...1900	1700...1900
Коэффициент теплопроводности	0,47...0,6	0,5...0,7	0,6...0,7	0,6...0,77	0,54...0,65	0,6...0,7	0,5...0,6
Длина	246...254	245...253	244...252	246...253	250...253	246...253	245...253
Ширина	117...123	118...121	117...122	118...122	118...122	118...123	117...121
Высота	62...68	62...69	63...68	64...66	64...66	63...67	62...67

Таблица 2

Значения показателей полноты контроля качества кирпича

Параметры	$m_k$	Проверки					
		$m_k^1$	$m_k^2$	$m_k^3$	$m_k^4$	$m_k^5$	$m_k^6$
Нормальное распределение							
$R_{сж}$	0,82	1	1	0,997	1	0,961	0,857
$R_{изг}$	0,499	0,84	0,999	0,84	0,997	0,84	0,874
Средняя плотность	0,008	0,69	0,497	0,322	0,166	0,834	0,497
Коэффициент теплопроводности	0	0,943	0	0			
Длина	0,432	0,987	0,932	0,987	0,488	0,987	0,987
Ширина	1	1	1	1	1	1	1
Высота	0,857	0,997	0,976	0,683	0,683	0,954	0,976
Равномерное распределение							
$R_{сж}$	0,52	1	1	0,735	1	0,833	0,85
$R_{изг}$	0,11	0,667	1	1	0,5	0,667	0,5
Средняя плотность	0,667	1	1	1	0,667	1	1
Коэффициент теплопроводности	0	0,5	0	0			
Длина	0,574	0,875	0,75	1	1	1	0,875
Ширина	1	1	1	1	1	1	1
Высота	0,857	0,857	1	1	1	1	1

Т а б л и ц а 3

Оценка полноты контроля показателей кирпича при приемо-сдаточных испытаниях

Параметры	Характеристика
$R_{сж}$	условно проверяемый
$R_{изг}$	условно проверяемый
Средняя плотность	условно проверяемый
Коэффициент теплопроводности	проверяемый
Длина	условно проверяемый
Ширина	непроверяемый
Высота	условно проверяемый

Т а б л и ц а 4

Оценка полноты контроля кирпича при приемо-сдаточных испытаниях

Гипотеза о распределении вероятностей	Полнота контроля
Нормальное	$\Pi = \frac{7 - (1 + 0,87 + 0,432 + 0,008 + 0,499 + 0,82)}{7} = 0,483$
Равномерное	$\Pi = \frac{7 - (1 + 0,52 + 0,11 + 0,667 + 0,574 + 0,857)}{7} = 0,467$

Анализ данных, приведенных в табл. 4, показывает, влияние гипотезы о распределении вероятностей минимально, оценка полноты контроля керамического кирпича КР-р-по 250 120 65/1НФ/100/2,0/50/ГОСТ 530—2012 составляет 46,7...48,3 %. Это подтверждает требования ГОСТ530—2012 о проведении проверок данных показателей (внешний вид, размеры, отклонения от номинальных размеров и формы, предел прочности при сжатии и изгибе, среднюю плотность) при приемо-сдаточных испытаниях. Можно исключить проверку ширины кирпича, что позволит несколько снизить трудоемкость проведения контроля.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pries V. V., Proskuriakov N. E. // Journal of Physics Conference Series. 2018. Vol. 998. UNSP 012024.
2. Mansor Idris, Abd Kadir Kasyfullah. Mechanisms and Enforcement of Quality Control on the Translation of Qur'an in Malaysia. Advanced science letters. 2016. Vol. 22(9). Pp. 2211—2214.
3. Wu Jianguo; Liu Yuhang; Zhou Shiyu. Bayesian Hierarchical Linear Modeling of Profile Data With Applications to Quality Control of Nanomanufacturing. Ieee transactions on automation science and engineering. 2016. № 13(3). P. 1355—1366.
4. Логанина В. И., Хрусталева Б. Б., Учаева Т. В. Статистическое управление производством строительных изделий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 1. № 3 (61). С. 65—67.
5. Логанина В. И., Круглова А. Н. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2014. № 2. С. 16—18
6. Логанина В. И., Федосеев А. А. Статистические методы контроля и управления качеством продукции : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство». Ростов-на-Дону, 2007. Сер.: Высшее образование.
7. Galobardes I., Silva C. L., Figueiredo A. Alternative quality control of steel fibre reinforced sprayed concrete (SFRSC). Construction and building materials. 2019. Vol. 223. Pp. 1008—1015.

8. Камалова П. М. Модель оценки полноты контроля качества в соответствии со стандартами ISO 9000/9001 // Вестник АГТУ. Сер.: Экономика. 2014. № 2. С. 56—60.
9. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 353 с.
10. Многокритериальные задачи принятия решений / под ред. Д. М. Гвишиани и С. В. Емельянова. М.: Машиностроение, 1978. 192 с.
11. Серых В. И., Гребцова Л. В. Метод обоснования требований к точности средств измерительного контроля // Вестник СибГУТИ. 2012. № 1. С. 30—40.
12. Фролов В. Я., Стадник В. В. Экспериментальное определение оценки достоверности контроля изделий // Вестник ХНАДУ. 2011. № 53. С. 118—121.

© Логанина В. И., Куимова Е. И., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Логанина В. И., Куимова Е. И. Оценка полноты контроля качества строительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 157—162.

Об авторах:

**Логанина Валентина Ивановна** — д-р техн. наук, профессор, заведующая 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](mailto:loganin@mail.ru)

**Куимова Елена Ивановна** — канд. техн. наук, доцент кафедры математики и математического моделирования, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, [lenua-kui@mail.ru](mailto:lenua-kui@mail.ru)

**Valentina I. Loganina, Elena I. Kuimova**

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

## ASSESSMENT OF COMPLETENESS OF QUALITY CONTROL OF BUILDING MATERIALS

Information is given on the completeness of quality control of building materials using ceramic bricks as an example. The completeness of the control was calculated as the percentage of checked failures. It is shown that during acceptance tests, the completeness of control of ceramic bricks of grade 100 is 46.7-48.3%. This confirms the requirements of GOST530-2012 on conducting performance checks (appearance, dimensions, deviations from nominal sizes and shapes, tensile strength in compression and bending, average density) during acceptance tests. You can exclude checking the width of the brick, which will slightly reduce the complexity of the control.

**Key words:** reliability and completeness of control, malfunction, ceramic brick, acceptance tests.

**For citation:**

Loganina V. I., Kuimova E. I. [Assessment of completeness of quality control of building materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 157—162.

**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](mailto:loganin@mail.ru)

**Elena I. Kuimova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Mathematics and Mathematical Modeling Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering. 28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russian Federation, [lenua-kui@mail.ru](mailto:lenua-kui@mail.ru)

УДК 666.972

**А. В. Положнов, Ш. И. Магомедов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НИЖНЕ-ВОЛЖСКОГО РЕГИОНА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Проанализированы результаты проведенного научно-технического и аналитического обзора по применению компонентов промышленных отходов при производстве строительных композиционных материалов.

Приведены результаты оценки прочностных свойств строительного композита с применением компонентов промышленных отходов.

Сделан вывод о том, что использование отходов промышленных предприятий как вторичных материальных ресурсов для производства строительных композитов позволит не только расширить сырьевую базу строительной промышленности, но и создавать материалы различного функционального назначения с улучшенными характеристиками.

**Ключевые слова:** строительный композит, отходы промышленных предприятий, состав, свойства, прочность.

Производство строительных материалов с использованием промышленных отходов решает комплексные задачи:

- улучшение экологической обстановки в регионах;
- утилизация отходов;
- экономия энергосырьевых ресурсов.

Исходя из работ данных авторов [1—12], промышленность строительных материалов является наиболее потребляемой в плане промышленных отходов. Как итог многочисленных исследований и анализов — строительная отрасль рассматривается как основной потребитель отходов промышленных предприятий в качестве вторичных материальных ресурсов.

Результаты комплексного анализа физико-химических и физико-механических показателей промышленных отходов позволили сделать заключение, что они по составу и свойствам близки к сырью природного происхождения [6, 9—16]. В то же время необходимо отметить, что для отходов промышленных предприятий характерны такие показатели (исходящие из условий образования отходов), как:

- неустойчивость химического состава;
- разнообразие свойств;
- особенности использования на различных этапах технологического процесса производства строительного композита.

Остановимся на современной и принятой (хотя и постоянно корректирующей) классификации (рис. 1, 2).

Предприятия Нижне-Волжского региона металлургической, машиностроительной, станкостроительной и инструментальной промышленностей (АО «Волжский трубный завод», ОАО «Волжский Абразивный Завод», ЕПК «Волжский подшипниковый завод» и др.) в своей деятельности значительное внимание уделяют экологическим проблемам путем внедрения современных технологий переработки отходов, а также их сбыта.



Рис. 1. Классификация промышленных отходов

П. И. Боженковым была предложена классификация по агрегатному состоянию (рис. 2).

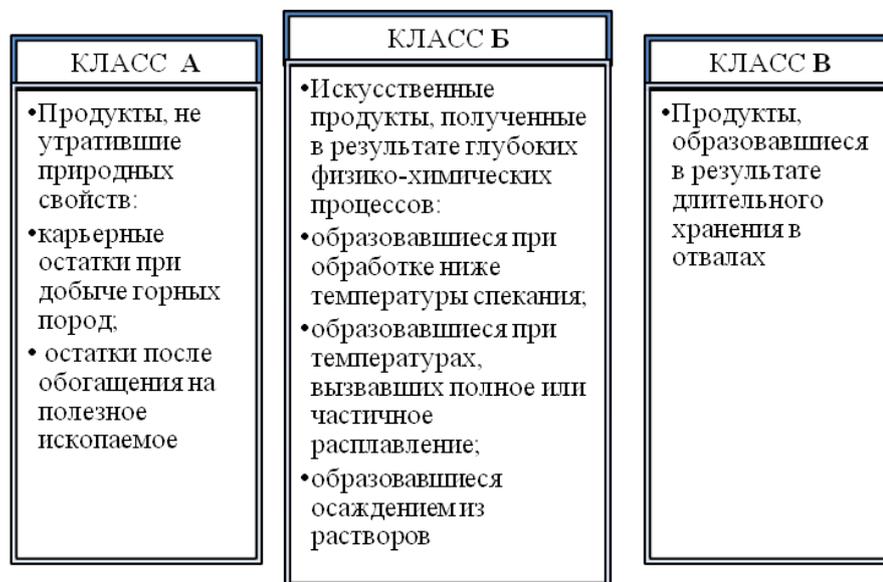


Рис. 2. Классификация промышленных отходов по агрегатному состоянию (по Боженкову)

Необходимо отметить, что научные исследования в направлении использования промышленных отходов не только не останавливаются, а постоянно развиваются.

Принимая во внимание, что строительные материалы являются, по сути, классическими композитами с гетерогенной и многофазной структурой, в их состав вводятся компоненты — промышленные отходы, которые:

с одной стороны, отличаются химическим, минеральным, морфологическим составом, термодинамическим состоянием;

с другой — являются носителями определенных, специфических характеристик и свойств;

а в итоге — являются формирующими составляющими систем твердения и структур композитов различного функционального назначения.

При формировании строительных композитов с использованием промышленных отходов технологи ориентируются не только на самостоятельной структурообразующей роли вводимых компонентов, а в основном на практические параметры технологического процесса при сочетании вводимых компонентов с известными неорганическими и органическими веществами (цементом, полимерными смолами и т. п.) [6, 9, 12].

Приведем результаты проведенного нами научно-технического и аналитического обзора по применению компонентов промышленных отходов при производстве строительных композиционных материалов [6, 12].

Компоненты промышленных отходов при производстве строительных композиционных материалов:

1. Шлак металлургического производства АО «Волжский трубный завод».
2. Полимерный материал как промышленный отход металлургического производства.
3. Инструментальные отходы машиностроения. Материал получается в результате механической доводки абразивного инструмента до требуемых геометрических размеров (ОАО «Волжский абразивный завод»).
4. Отсевы природного кварцевого песка (ОКП) Орловского месторождения (г. Волгоград), фракция 0,6...0,3 мм (ЗАО «Орловский песчаный карьер»).
5. Стеклобой (смесь боя стекла) — ГОСТ Р 52233—2004 (АО «Камышинский стеклотарный завод»).
6. Шламы подшипникового производства (ЕПК «Волжский подшипниковый завод»).

В комплексной научно-исследовательской работе [6] по разработке новых составов цементного бетона с улучшенными эксплуатационными характеристиками при использовании в качестве заполнителя металлургического шлака АО «Волжский трубный завод» представлены результаты:

исследования влияния заполнителей на физико-химические и прочностные характеристики бетона;

разработки новых составов бетона с металлургическими шлаками в качестве заполнителя для производства бордюрного камня.

Авторы работы [17] подтвердили целесообразность использования полимерных и абразивных отходов для производства полимерных композитов строительного назначения, которые применимы в качестве антикоррозионного покрытия и гидроизоляционного материала строительных материалов и изделий.

Представим результаты исследования строительного композиционного материала (рис. 3, 4), в качестве компонентов которого использовались инструментальные отходы машиностроения и стеклобой (взамен заполнителя — песка).

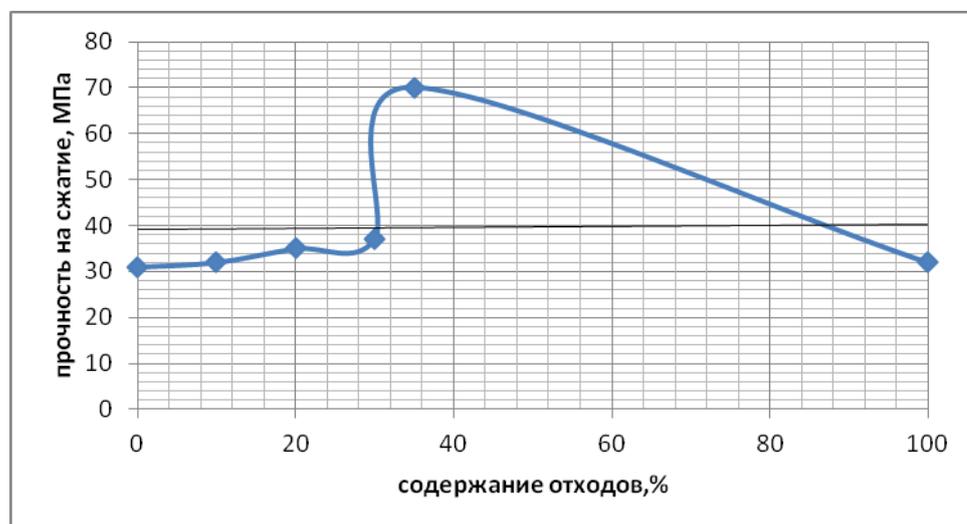


Рис. 3. Прочностные характеристики строительного композита с использованием инструментальных отходов машиностроения

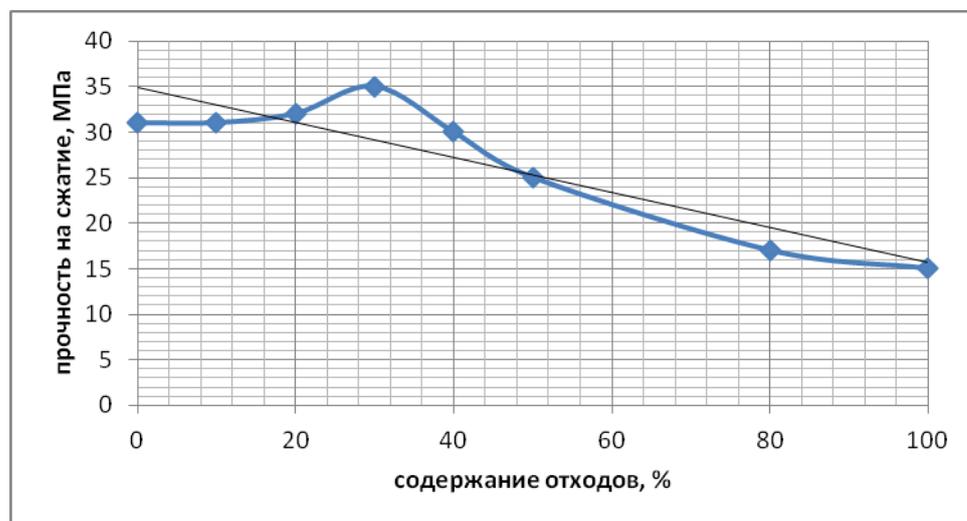


Рис. 4. Прочностные характеристики строительного композита с использованием отходов — стеклобоя

Таким образом, использование отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона как вторичных материальных ресурсов для производства строительных композитов позволит не только расширить сырьевую базу строительной промышленности, но и создавать материалы различного функционального назначения с улучшенными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гончарова М. А., Бочарников А. С., Глазунов А. В. Магнитные герметизирующие эпоксидные композиционные материалы с наполнителями из отходов производств / Под ред. А. С. Бочарникова. Липецк : ЛГТУ, 2009.
2. Грызлов В. С. Формирование структуры шлакобетонов : монография. Череповец : ЧГУ, 2011. 274 с.
3. Ильичев В. А., Карпенко Н. И., Ярмаковский В. Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // Строительные материалы. 2011. № 4.
4. Панова В. Ф. Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса : учебное пособие. Новокузнецк : СибГИУ, 2005. 182 с.
5. Павлов В. Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // Строительные материалы. 2003. № 8 С. 28—30.
6. Клавдиева Т. Н. Разработка составов и повышение эксплуатационных характеристик цементных бетонов при использовании техногенного сырья металлургии : дис... канд. тех. наук Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. 2010. 132 с.
7. Фоменко А. И., Грызлов В. С. Получение цемента из техногенного сырья // Цемент и его применение. 2001. № 5. С. 23—25.
8. Хвастунов В. Л. Экспериментально-теоретические основы получения композиционных вяжущих и строительных материалов из шлаков и высокодисперсных горных пород : дис... д-ра техн. наук. Пенза, 2005. 534 с.
9. Хирис Н. С. Высоконаполненный мелкозернистый бетон на основе техногенных отходов металлургии : дис... канд. техн. наук. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. 144 с.
10. Kodama K. Study on utilisation of blast-furnace slag in Concrete // Transaction of the Japan Society of Civil Engineers. 1981. Vol. 12. Pp. 278—279.
11. 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. Dundee, 2003. Pp. 827—838.
12. Кулявцев И. Ю. Разработка составов строительных композитов различного функционального назначения с использованием абразивных и полимерных отходов : дис... канд. техн. наук. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. 138 с.
13. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики / Ю. И. Гончаров, В. С. Лесовик, М. Ю. Гончарова, В. В. Строкова. Белгород : БелГТАСМ, 2001. 181 с.
14. Расстегаева Г. А. Активные и активированные минеральные порошки из отходов промышленности : монография. Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2002. 192 с.
15. 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 Text // Cem. and Concr. Res. 1990. № 5. Pp. 783—794.
16. 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. Dundee, 2003. Pp. 695—704.
17. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашиников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. М. : Ассоциация строительных вузов, 2006. 368 с.

© Положнов А. В., Магомедов Ш. И., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Положнов А. В., Магомедов Ш. И. Опыт использования отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона при изготовлении строительных композитов различного функционального назначения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 163—168.

*Об авторах:*

**Положнов Антон Валериевич** — 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)

**Магомедов Шамиль Исмаилович** — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [Shamil523@yandex.ru](mailto:Shamil523@yandex.ru)

**Anton V. Polozhnov, Shamil I. Magomedov**

**Volgograd State Technical University**

### **EXPERIENCE OF USING WASTE OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF THE LOWER-VOLGA REGION IN THE MANUFACTURE OF CONSTRUCTION COMPOSITES OF VARIOUS FUNCTIONAL PURPOSE**

The results of a scientific, technical and analytical review on the use of industrial waste components in the production of building composite materials are analyzed.

The results of evaluating the strength properties of a building composite using components of industrial waste are presented.

It is concluded that the use of industrial waste as secondary material resources for the production of building composites will not only expand the raw material base of the construction industry, but also create materials of various functional purposes with improved characteristics.

**Key words:** building composite, industrial waste, composition, properties, strength.

*For citation:*

Polozhnov A. V., Magomedov Sh. I. [Experience of using waste of industrial enterprises of the Lower-Volga region in the manufacture of construction composites of various functional purpose]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 163—168.

*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)

**Shamil I. Magomedov** — Master's Degree student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [Shamil523@yandex.ru](mailto:Shamil523@yandex.ru)

УДК 666.972

**А. В. Положнов, Ш. И. Магомедов**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НИЖНЕ-ВОЛЖСКОГО РЕГИОНА**

Проведен научно-технический и технологический анализ промышленных отходов Нижне-Волжского региона.

Предлагаются технологические подходы к процессам формирования и прогнозирования свойств строительных композитов с использованием отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона.

**Ключевые слова:** строительный композит, отходы промышленных предприятий, технология, формообразование, состав, свойства.

Широкий спектр технологических операций, применяемых при производстве строительных композиционных материалов с использованием отходов промышленных предприятий, обусловлен значительным разнообразием по виду, химическому составу и свойствам этих отходов.

И именно набор технологических операций обеспечивает получение строительных композиционных материалов с прогнозируемыми технико-экономическими показателями [1—16].

Проведенный научно-технический и технологический анализ промышленных отходов Нижне-Волжского региона позволяет сделать вывод о наиболее рациональных формах их использования в производстве строительных композиционных материалов:

- заполнители;
- связующие;
- минеральные добавки;
- модификаторы [3, 5, 7, 8, 14, 16].

Рассмотрим факторы, наиболее полно характеризующие отходы промышленных предприятий для эффективного использования в производстве строительных композиционных материалов (рис. 1) [3].



Рис. 1. Основные параметры промышленных отходов

В технологической практике каждый вид промышленных отходов для выбора конкретного применения проходит несколько определяющих этапов оценки по различным критериям:

- по токсичности;
- по химико-минералогическому составу;
- по соотношению между органической и минеральной частями;
- по содержанию аморфных компонентов (активные, инертно-активные, инертные);
- по агрегатному состоянию (твердые — сыпучие (кусковые, порошковые дисперсные и высокодисперсные), волокнистые, жидкие — эмульсии, сточные воды; пастообразные — шламы, осадки, концентрированные эмульсии);
- по объему образования (многотоннажные и малотоннажные).

В качестве приоритетной технологии подготовки компонентов для формирования строительных композитов с использованием отходов промышленных предприятий считают интенсивную отдельную технологию, предложенную академиком В. И. Соломатовым, которая предполагает разделение процесса подготовки компонентов на самостоятельные переделы.

В работах [3, 5, 7, 8, 14] представлены результаты исследований по использованию промышленных отходов в производстве строительных материалов, итогом которых являются новые технологии производства строительных композиционных материалов различного функционального назначения.

Рассмотрим общие технологические подходы к формированию строительных композиционных материалов, заключающиеся в прохождении и выполнении этапов-позиций, представленных на технологической схеме (рис. 2).

Неоспоримым фактом является то, что свойства композиционного материала с использованием отходов промышленных предприятий зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними.

В технологической практике композитов имеется понятие — оптимальный состав, под которым понимается расчетный состав по объемным или массовым дозировкам компонентов, скорректированным с учетом требований, определяющих формирование стабильной структуры.

За макроструктуру ответственны технологические параметры производства (гранулометрический и химический состав, дисперсность, форма зерен компонентов, степень однородности смешения и т. п.).

За микроструктуру ответственны процессы твердения и различные граничные процессы, включая диффузионные.

В связи с этим комплексный физико-химический анализ предусмотрен практически на всех стадиях технологического передела, но обязательным является на стадиях подготовки и смешивания.

Отходы промышленных предприятий Нижне-Волжского региона в своем большинстве являются дисперсным порошковым материалом, прошедшим технологический передел переработки: дробление, измельчение, включая процесс механохимической активации (что и отражено на схеме).

Одной из основных технологических операций приготовления композиционной смеси является смешивание дисперсных компонентов, и основополагающим фактором формирования гомогенной оптимальной структуры го-

того изделия определен фактор однородности, что и контролируется методами физико-химического анализа по обратной связи процесса.

На заключительной стадии формирования (см. рис. 2) предусмотрены испытания строительного композиционного материала как готового изделия.

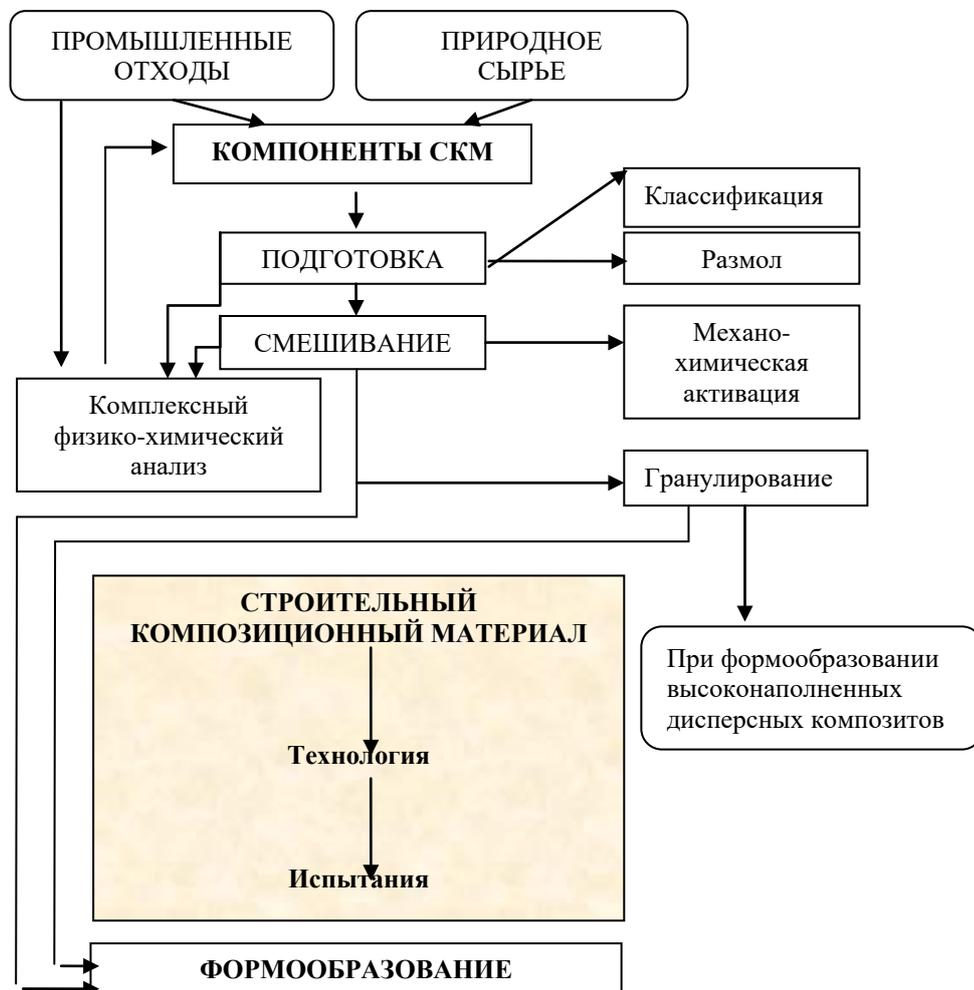


Рис. 2. Схема формирования строительного композита с использованием отходов промышленных предприятий

Предлагаемые технологические подходы применимы к процессам формирования и прогнозирования свойств строительных композитов с использованием отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона в силу следующих обстоятельств:

- учитывает и контролирует состав композиционного материала;
- применяет комплексные методы исследования и контроля структуры, определяющей свойства композита;
- не только подтверждает различия в природе фаз композита, но и прогнозирует и контролирует происходящие физико-химические процессы формирования композита;

- регулирует классические способы, приемы и последовательность изготовления строительного композита;

- анализирует и контролирует свойства строительного композита.

Решение комплексных задач формирования строительных композиционных материалов при использовании отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона в теоретическом и технологическом (практическом) планах позволит получать научно-технические, социально-экономические и экологические эффекты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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.

2. *Ильичев В. А., Карпенко Н. И., Ярмаковский В. Н.* О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // Строительные материалы. 2011. № 4.

3. *Кулявцев И. Ю.* Разработка составов строительных композитов различного функционального назначения с использованием абразивных и полимерных отходов : дисс... канд. техн. наук. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. 138 с.

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

5. *Клавдиева Т. Н.* Разработка составов и повышение эксплуатационных характеристик цементных бетонов при использовании техногенного сырья металлургии : дисс... канд. техн. наук. Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. 132 с.

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

7. *Хвастунов В. Л.* Экспериментально-теоретические основы получения композиционных вяжущих и строительных материалов из шлаков и высокодисперсных горных пород : дис... д-ра техн. наук. Пенза, 2005. 534 с.

8. *Хирис Н. С.* Высоконаполненный мелкозернистый бетон на основе техногенных отходов металлургии : дисс... канд. техн. наук. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. 2014. 144 с.

9. Barnes B. D., Diamond Sindey, Dolch W. L. The Contact Zone between Portland Cement Paste and Glass "Aggregate" Surfaces // Cem. and Concr. Res. 1978. № 2. Pp. 233—243.

10. 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.

11. *Rehm Gallus, Diem Paul.* Rontgenanalyse des Zementsteins im Bereich der Zuschlage // Dtsch. Ausschuss Stahlbeton. 1977. № 283. Pp. 40—55.

12. *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.

13. *Xie Song-shan.* Investigation of adhesion in a contact zone of concrete // Chin. Silic. Soc. 1983. № 4. Pp. 489—497.

14. *Волченко Е. Ю., Акчуринов 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.

15. *Чернышов Е. М., Коротких Д. Н.* Высокотехнологичные 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.

16. *Баженев Ю. М., Демьянова В. С., Калашиников В. И.* Модифицированные высококачественные бетоны. М. : Ассоциация строительных вузов, 2006. 368 с.

© Положнов А. В., Магомедов Ш. И., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Положнов А. В., Магомедов Ш. И. Технологические подходы к формированию строительных композитов с использованием отходов промышленных предприятий Нижне-Волжского региона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 169—173.

Об авторах:

**Положнов Антон Валериевич** — 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)

**Магомедов Шамиль Исмаилович** — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [Shamil523@yandex.ru](mailto:Shamil523@yandex.ru)

**Anton V. Polozhnov, Shamil I. Magomedov**

**Volgograd State Technical University**

## **TECHNOLOGICAL APPROACHES TO THE FORMATION OF CONSTRUCTION COMPOSITES USING WASTE OF INDUSTRIAL ENTERPRISES OF THE LOWER VOLGA REGION**

A scientific, technical and technological analysis of industrial waste from the Lower Volga region was carried out.

Technological approaches to the processes of formation and prediction of the properties of building composites using waste from industrial enterprises of the Lower Volga region are proposed.

**Key words:** building composite, industrial waste, technology, shaping, composition, properties.

*For citation:*

Polozhnov A. V., Magomedov Sh. I. [Technological approaches to the formation of construction composites using waste of industrial enterprises of the Lower Volga 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], 2020, iss. 1, pp. 169—173.

*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)

**Shamil I. Magomedov** — Master's Degree student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [Shamil523@yandex.ru](mailto:Shamil523@yandex.ru)

УДК 691.322+666.97

**О. В. Тараканов<sup>а</sup>, Т. К. Акчурин<sup>б</sup>, Е. С. Утюгова<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

<sup>б</sup> Волгоградский государственный технический университет

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ БЕТОНОВ**

Рассмотрена возможность применения диатомита в качестве минерального компонента комплексной органоминеральной добавки совместно с ускорителями твердения. Проанализирован характер влияния комплексных добавок на кинетику твердения тяжелого бетона.

**Ключевые слова:** бетоны нового поколения, комплексные органоминеральные добавки, микронаполнители, диатомит, ускорители твердения, рентгенофазовый анализ, прочность.

Одним из направлений развития современного материаловедения является разработка и внедрение технологий цементных материалов и бетонов нового поколения.

В настоящее время в развитых странах практически весь бетон изготавливается на основе современных физико-химических технологий с применением эффективных модифицирующих добавок, как правило, полифункционального действия.

В России уровень химизации бетона еще недостаточно высок, и это объясняется отчасти некоторой инертностью производителей бетона, а с другой стороны — отсутствием рекомендаций по проектированию и строительству заводов по производству бетонов нового поколения, которые по комплектации оборудования, материально-техническому обеспечению и технологическим регламентам существенно отличаются от традиционных бетонных заводов.

Отличительной особенностью бетонов нового поколения является применение в их составе супер- или гиперпластификаторов (СП и ГП) совместно с тонкоизмельченными минеральными добавками на основе прочных и плотных горных пород. В работах, выполненных ранее [1—5], было показано, что подобные микронаполнители, в отличие от цементов, обладают повышенной реологической активностью, заключающейся в том, что минеральные порошки (каменная мука) значительно лучше, чем большинство цементов, разжижаются в присутствии СП и ГП. Каменная мука вводится в состав бетонов в количестве до 100 % от массы цемента (в зависимости от состава и расхода вяжущего), что и позволяет в смеси с цементом достигать большего водоредуцирования, в отличие от цементных бетонов без микронаполнителей. Другой важной особенностью при выборе минеральных добавок является их гидратационная активность, позволяющая связывать гидратную известь в гидросиликатные структуры.

Развитие технологических основ и внедрение бетонов нового поколения в строительное производство позволяет успешно решать важную экологическую проблему — использование в технологии бетонов отходов камнедробления, а также минеральных ресурсов на основе вторичного сырья (шламов, минеральных осадков, шлаков и т. д.).

На сегодняшний день проблема утилизации отходов горной промышленности и других минеральных ресурсов является глобальной, поскольку уровень использования отходов является весьма низким и составляет всего лишь не более 15...20 %.

Однако, как было отмечено выше, не все отходы и минеральное сырье могут быть эффективно использованы в технологии бетонов нового поколения, а лишь те, которые получены на основе прочных и плотных горных пород. В этой связи важным направлением исследований в строительном материаловедении является изучение характера влияния минеральных и органических добавок на процессы гидратации, структурообразование и кинетику твердения цементных материалов.

Пензенская область, как и многие другие регионы России, обладает колоссальными запасами диатомита — силикатной породы осадочного происхождения, образовавшейся из панцирей диатомовых водорослей, отложившихся в линзовых впадинах мирового океана. Приблизительные запасы Чуварлейского месторождения Пензенской области составляет 1,3 млн м<sup>3</sup>. Диатомит обладает рядом физико-механических свойств (малая объемная масса, тонкопористая структура, термокислотоустойчивость, наличие аморфного кремнезема), которые обеспечивают ему широкое применение в различных отраслях [6—12].

С точки зрения возможности использования диатомита в технологии бетона важным является наличие аморфного кремнезема, обладающего потенциальной гидратационной активностью. Негативным фактором является высокая водопотребность диатомита, не позволяющая эффективно использовать его в качестве реологически активной добавки в бетон.

Выполненные рентгенофазовые исследования образцов диатомита (см. рис.) показали наличие в его составе аморфного кремнезема и кристаллического кварца, о чем свидетельствует гало в интервале брэгговских углов 2 $\theta$  17...37° и отражение при  $\lambda = 3,35$  А соответственно.

Как уже сообщалось выше, широкое применение в технологии бетона получили комплексные органоминеральные добавки. Понятие «комплексные» должно включать в себя обоснованную возможность комбинации химических (органических) и минеральных добавок, при которых возможно достижение синергетических эффектов, превышающих индивидуальные эффекты от применения каждого из компонентов. Однако в настоящее время состав комплексных добавок назначается в большинстве случаев эмпирически, как правило, без анализа влияния индивидуальных компонентов на процессы гидратации и формирование микроструктуры цементных материалов. В исследованиях, выполненных ранее [13, 14], было показано, что большинство современных пластифицирующих добавок способствуют замедлению кинетики гидратации на начальном этапе. Однако в последующем добавки способствуют ускорению набора прочности вследствие значительного снижения водосодержания смеси.

С целью анализа возможности применения тонкодисперсного диатомита в составе бетона были выполнены исследования изменения удобоукладываемости и кинетики твердения образцов бетона 100 × 100 × 100 мм, подвергавшихся тепловлажностной обработке по режиму 3 + 6 + 12 ч при температуре изотермии  $t = 70$  °С и далее твердевших в нормальных условиях. В качестве добавок использовался СП «Хидетал 9γ» и ускорители твердения Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

2Tmax lmax d 2Tcg lint w k a R  
26.5251 88.8 3.3577 26.5424 340.5 0.107 0.600 1.263 0.497

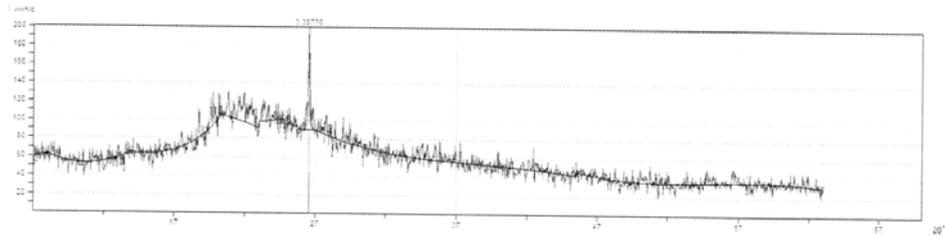


Рис. Рентгенограмма диатомита

Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Влияние комплексных добавок на прочность тяжелого бетона*

№	Состав	Добавки, % от массы цемента	В/Ц	ОК, см	Прочность при сжатии, МПа		
					после ТВО	через 7 сут	через 60 сут
1	Новоульяновский цемент, ЦЕМ 1-42,5. Расход 378 кг/м <sup>3</sup> . Состав бетона: Ц: П: Ш — 1:1,7:3,24	«Хидетал 9γ» 1 %	0,44	10	31	35	56
2	Ц = 377 кг/м <sup>3</sup> . Состав бетона: 1: 1,7: 3,26	«Хидетал 9γ» 1 %, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 %	0,45	3	40	42	50
3	Ц = 321 кг/м <sup>3</sup> . Состав бетона: 1: 2: 3,76	«Хидетал 9γ» 1 %, ПДТ 1 %	0,56	2	28	29	40
4	Ц = 326 кг/м <sup>3</sup> . Состав бетона: 1: 1,9: 3,67	«Хидетал 9γ» 1 %, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 %, Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,5 %, ПДТ 1 %	0,6	6	17	20	36

Примечание: ПДТ — природный диатомит тонкомолотый.

Анализ выполненных исследований, касающихся применения силикатосодержащей добавки диатомита в бетонах, содержащих суперпластификаторы, и возможности получения синергетических и антагонистических эффектов при разработке комплексных органоминеральных добавок позволяет сделать следующие выводы:

1. Добавка «Хидетал 9γ» является достаточно эффективным разжижителем бетонных смесей.

2. Введение в состав бетона совместно с добавкой «Хидетал 9γ» традиционного ускорителя твердения — сульфата натрия — снижает пластичность смеси и позволяет повысить прочность бетона после ТВО и через короткий период последующего твердения (через 7 сут) в среднем на 20...25 %. В последующем прироста прочности не отмечено.

3. Введение в состав бетона совместно с СП «Хидетал 9γ» добавки ПДТ (диатомита) приводит к резкому снижению подвижности смеси (ОК с 10 до 3 см). Прочность образцов как после ТВО, так и при последующем твердении

снижается от 10 до 30 % через 60 сут. Полученные результаты свидетельствуют о том, что добавка ПДТ, содержащая аморфный кремнезем, не является активной минеральной добавкой и, кроме того, за счет высокого водопотребления приводит к значительному снижению прочности бетона.

Попытка снизить отрицательное влияние добавки ПДТ на прочность бетона за счет использования комбинации двух ускорителей твердения ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) не привела к положительным результатам, и в целом смесь трех добавок приводит к значительному снижению прочности как после ТВО (на 35...40 %) по сравнению с составом, содержащими только СП «Хидетал 9γ». Здесь возможно отметить, что в присутствии двух ускорителей наблюдается некоторый синергетический эффект, и смесь становится более пластичной ( $\text{OK} = 6$  см), однако высокое водосодержание приводит к снижению прочности, которое невозможно компенсировать ускоряющим эффектом сульфата натрия и нитрата кальция.

К положительным результатам выполненных исследований следует отнести тот факт, что в составах с добавками, содержащими кроме «Хидетал 9γ» добавки (ПДТ +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и (ПДТ +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  +  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), был снижен расход цемента на 15 %. Поэтому возможно, что при равных расходах вяжущего снижения прочности не будет отмечено.

Таким образом, при проектировании комплексных органоминеральных добавок необходимо выполнять детальные исследования, касающиеся характера влияния индивидуальных компонентов и смеси добавок на процессы гидратации и кинетику твердения цементных материалов. В противном случае возможно получение антагонистических эффектов. К примеру, добавка диатомита, состоящая в основном из аморфного кремнезема, не оказала существенного влияния на рост прочности бетона, а традиционные ускорители твердения также оказались неэффективными, чтобы компенсировать негативное влияние высокого водосодержания бетона.

Исследования, выполненные с использованием других минеральных микронаполнителей (гранит, кальцит, микрокварц), показали, что в присутствии СП и ГП в большей степени разжижающему влиянию (по сравнению с цементами) подвержены гранитная мука и микронаполнители, полученные на основе плотной опоки, однако разжижающее влияние СП и ГП также различно для различных цементов и микронаполнителей. Например, добавка С-3 для гранитной каменной муки является более эффективной, чем ГП Melflux 5541, а для большинства цементов большей эффективностью обладают именно добавки Melflux.

Современные ГП на поликарбосиликатной основе в большинстве случаев являются более эффективными, чем, например, С-3, и позволяют достигать высоких водоредуцирующих эффектов при меньших дозировках, чем С-3.

Положительным фактором при использовании в составе цементных бетонов тонкодисперсных микронаполнителей является не только повышение реологической эффективности СП и ГП и уплотнение структуры, но и возможность кристаллизации гидратных фаз цемента на частицах микронаполнителя, что способствует формированию множества контактов срастания и в целом повышению прочности наполненных цементных систем. В этой связи весьма важным фактором является природа частиц микронаполнителя и ее зарядовое состояние.

В последнее время все большее внимание исследователей привлекают минеральные добавки на основе кальцита. В отличие от добавок, содержащих активный кремнезем, кальцит в цементных системах не является химически активным. Однако анализ кристаллического строения кальцита и процессов гидратации карбонатнонаполненных цементных материалов [15, 16] свидетельствует о возможности образования ряда гидратных фаз, уплотняющих структуру и способствующих повышению прочности (основные карбонаты кальция, гидрокальциты, гидрокарбоалюминаты кальция). Кроме того, в присутствии тонкомолотого кальцита на гранях его кристаллов создается возможность эпитаксиального наращивания гидратных новообразований цементного камня.

Возможно предположить, что при проектировании комплексных органо-минеральных добавок значительные синергетические эффекты могут быть получены при использовании бинарных тонкомолотых микронаполнителей. Например, добавок, содержащих аморфный кремнезем в смеси с кальцитом. Результаты исследований характера изменения прочности тяжелого бетона с подобными добавками (табл. 2) показали, что бинарные органо-минеральные добавки являются более эффективными, чем индивидуальные. Например, комплексная смесь на основе плотной опоки, тонкомолотого кальцита и С-3 повышает прочность тяжелого бетона на 50...55 % в отличие от добавки на основе кальцита и С-3.

Таким образом, проектирование комплексных органо-минеральных добавок должно осуществляться с учетом физико-механических и кристаллохимических свойств минералов горных пород, на основе которых разрабатывается комплексная смесь. Вместе с тем следует иметь в виду, что характер пластифицирующего влияния современных СП и ГП в значительной степени зависит от конформационного строения молекул добавок и зарядового состояния основных и боковых цепей, длина которых влияет на характер замедляющего действия добавок. Вполне естественно, что достаточно сложно оценить зарядовое состояние частиц микронаполнителей и частиц цемента, совместно оказывающих влияние на эффективность СП и ГП. Значительно более сложной задачей является оценка влияния бинарных органо-минеральных добавок на изменение структурной топологии, характер гидратообразования и состав продуктов гидратации цементных систем. Подобные исследования необходимы для разработки методологии проектирования комплексных полифункциональных модификаторов бетона, основанной не только на эмпирических заключениях, но и на научно обоснованных методах и подходах.

Т а б л и ц а 2

*Влияние комплексных органо-минеральных добавок  
на прочность тяжелого бетона нормального твердения*

№	Состав	Кол-во добавки, % от массы цемента	Прочность при сжатии МПа, через сут	
			14	28
1	Старооскольский ПЦ500 Д0. Состав Ц:П:Щ = 1:2:3,71. В/Ц = 0,4, Ц = 350кг/м <sup>3</sup> . Без добавки	—	40,0	42,0

№	Состав	Кол-во добавки, % от массы цемента	Прочность при сжа- тии МПа, через сут	
			14	28
2	Старооскольский ПЦ500 Д0. Состав Ц:П:Щ = 1:1,8:3,71. В/Ц = 0,4, Ц = 350 кг/м <sup>3</sup> . С добавками тонкомолотого кальцита СП С-3	40 0,7	<u>44,0</u>	<u>47,0</u>
			110	112
3	Старооскольский ПЦ500 Д0. Состав Ц:П:Щ = 1:1,9:3,31. В/Ц = 0,4, Ц = 350 кг/м <sup>3</sup> . С добавками доломит тонкомо- лотый кальцита СП С-3	30 0,7	<u>47,2</u>	<u>50,4</u>
			118	120
4	Старооскольский ПЦ500 Д0. Состав Ц:П:Щ = 1:1,9:3,31. В/Ц = 0,4, Ц = 350 кг/м <sup>3</sup> . С добавками плотной опоки тон- комолотого кальцита СП С-3	30 10 0,7	<u>62,0</u>	<u>63,1</u>
			155	150

Примечание. В таблице в числителе показатель прочности (МПа), в знаменателе прирост прочности в % по сравнению с контрольным составом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашников В. И. Основы пластифицирования дисперсных систем для производства строительных материалов : автореф. дис... д-ра техн. наук. Воронеж, 1996.
2. Калашников В. И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Часть 1. Виды реологических матриц в бетонной смеси и стратегия повышения прочности бетона и экономии его в конструкциях // Строительные материалы XXI века. Технологии бетонов. 2007. № 5. С. 8—10.
3. Калашников В. И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов // Строительные материалы. 2016. № 1—2. С. 96—103.
4. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами / В. И. Калашников, М. Н. Мороз, О. В. Тараканов, Д. В. Калашников и др. // Строительные материалы. 2014. № 9. С. 70—75.
5. Самоуплотняющиеся бетоны нового поколения на основе местных сырьевых ресурсов / О. В. Тараканов, В. И. Калашников, Е. А. Белякова, Р. Н. Москвин // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 2. С. 47—53.
6. Использование диатомитов Пензенской области в строительной отрасли / П. В. Москалец, Э. А. Овчаренков, Д. Р. Жанабергенова, Т. П. Тмина // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 3. С. 56—65.
7. Саденко Д. С., Коровкин, М. О., Ерошкина Н. А. Эффективность использования диатомита в качестве компонента минерально-химической добавки // Молодой ученый. 2015. Вып. 89.
8. Чекаве Н. П., Рябов А. Е. Возможности использования диатомитов Коржевского месторождения Пензенской области // Инновационные технологии в АПК : Теория, практика, сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 139—145.
9. Диатомиты Пензенской области и сфера их применения / А. А. Блинохватов, Д. Е. Борисков, А. А. Кузьмин, С. В. Зиновьев // Наука и образование в XXI веке : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 2 частях. ООО «АР-Консалт». 2018. С. 209—212.
10. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing / R. J. Galan-Arboledas, M. T. Cotes-Palomino, S. Bueno, C. Martinz-Garcia // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 144. Pp. 327—337.

11. The use of diatomaceous earth in production of foamed fine-grained concrete / Z. Puvlik, J. Pokorny, M. Zaleska, M. Pavlikova // International Multidisciplinary scientific GeoConference Surveying and Mini Ecology Management, SGEM. 2017. Vol. 17(62). Pp. 449—456.

12. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing / M. T. Cotes-Palomino, C. Martinez-Garcia, R. J. Galan-Arboledas, S. Bueno // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 144. Pp. 327—337.

13. Оценка влияния пластифицирующих добавок на состав продуктов гидратации цементного камня / О. В. Тараканов, В. И. Калашников, О. В. Гринцова, Е. А. Белякова и др. // Материалы Международного симпозиума по машиностроению и материаловедению. 2016. Vol. 93. Pp. 186—191.

14. Белякова Е. А., Тараканов О. В., Юрова В. С. Комплексные органоминеральные добавки с ускорителем твердения // Комплексные органоминеральные добавки с ускорителем твердения. 2018. № 284. Pp. 929—935.

15. Тараканов О. В., Пронина Т. В. Гидратация и твердение цементных материалов с добавками минеральных шламов. Пенза : ПГУАС, 2006. 150 с.

16. Wei J., Genctrurk B. Degradation of natural fiber in cement composites containing diatomaceous earth // Materials in Civil Engineering. 2018. № 30(11).

© Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Утюгова Е. С., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Утюгова Е. С. Эффективность применения комплексных органоминеральных добавок для бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 174—181.

Об авторах:

**Тараканов Олег Вячеславович** — д-р техн. наук, профессор, декан факультета управления территориями, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, [tarov60@mail.ru](mailto:tarov60@mail.ru)

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

**Утюгова Елена Сергеевна** — студентка, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, [elena-ut1@mail.ru](mailto:elena-ut1@mail.ru)

**Oleg V. Tarakanov<sup>a</sup>, Talgat' K. Akchurin<sup>b</sup>, Elena S. Utyugova<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Penza State University of Architecture and Civil Engineering*

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

## **EFFICIENCY OF APPLICATION OF INTEGRATED ORGANOMINERAL ADDITIVES FOR CONCRETES**

The possibility of using diatomite as a mineral component of a complex organomineral additive together with hardening accelerators is considered. The nature of the effect of complex additives on the kinetics of hardening of heavy concrete is analyzed.

**Key words:** Concrete of a new generation, complex organomineral additives, micro-fillers, diatomite, hardening accelerators, X-ray phase analysis, strength.

*For citation:*

Tarakanov O. V., Akchurin T. K., Utyugova E. S. [Efficiency of application of integrated organomineral additives for concretes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*.

*Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 174—181.

*About authors:*

**Oleg V. Tarakanov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dean of Management of Territories Faculty, Penza State University of Architecture and Civil Engineering. 28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russian Federation, [tarov60@mail.ru](mailto:tarov60@mail.ru)

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

**Elena S. Utyugova** — Student, Penza State University of Architecture and Civil Engineering. 28, Germana Titova St., Penza, 440028, Russian Federation, [elena-ut1@mail.ru](mailto:elena-ut1@mail.ru)

УДК 69:502

**Е. В. Москвичева, О. П. Радченко, Д. П. Клочков**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **СОСТАВ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПОСЛЕ ОБМЫВА АВТОТРАНСПОРТА НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ**

В работе рассмотрен вопрос охраны окружающей среды на строительных производствах. Определены типы экологических загрязнений при некоторых видах строительных работ. Рассмотрены меры повышения экологичности данных работ. Определены основные виды мероприятий, направленных на защиту окружающей среды от вредных воздействий. Даны рекомендации по очистке сточных вод, образующихся при мойке автотранспорта на строительных площадках.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительное производство, строительный мусор, сточная вода, технология очистки, автотранспорт, сорбент, окружающая среда, экология, мойка автотранспорта, загрязняющее вещество.

Экологическая ситуация на строительных площадках является важным этапом всего экологического функционирования строительной отрасли. В процессе эксплуатации автотранспорта на производстве происходит загрязнение внешних поверхностей машин строительной пылью, нефтепродуктами и мелкодисперсными фракциями почвенных загрязнений (глина, песок и др.). Обязательным условием на строительном производстве является обмыв поверхностей автотранспорта при выезде со строительной площадки с целью повышения экологичности строительного производства. При этом образуются сточные воды, загрязненные соответственно глинистыми частицами, мелкодисперсной пылью и нефтепродуктами. Серьезную проблему представляют такие загрязняющие вещества в сточных водах, как нефтепродукты. Как показывают исследования, в водных объектах нефтепродукты представляют собой чрезвычайно сложную, непостоянную и разнообразную смесь веществ, основными группами которой являются углеводороды, обычно составляющие преобладающую часть нефтепродуктов (70...90 %), смолы (1...30 %) и асфальтены (1...8 %). В незначительных количествах (0,001...5 %) в них присутствуют также другие специфические классы веществ [1]. Эти группы веществ обладают разными видами устойчивости и несут опасность для экосистемы, ухудшая физико-химические свойства водного объекта [2].

По дисперсному составу нефтепродукты в сточных водах могут быть в свободном, эмульгированном и растворенном состоянии.

Крупнодисперсные, свободные нефтепродукты преимущественно удаляются в результате отстаивания. Аппаратами для данного процесса являются отстойники.

Количество растворенной нефти в воде до недавнего времени практически не рассматривали. Однако современные исследования дают возможность судить о растворимости разных нефтепродуктов в воде в зависимости от различных факторов [3]. Так, при непродолжительности контакта нефтепродуктов с водой без перемешивания последних количество нефтепродуктов, перешедших в воду, с увеличением времени возрастает. При увеличении кон-

такта от 2 до 120 часов количество нефти в воде возрастает от 0,2 до 1,4 мг/л, дизельного топлива — от 0,2 до 0,8 мг/л. Растворимость бензинов зависит не только от времени, но и от метильных и метиленовых групп углеводородов, входящих в состав бензина. Для метильных и метиленовых групп концентрация бензина А76 в воде при контакте от 2 до 120 часов увеличивается от 1,4 до 11,9 мг/л, а для ароматических углеводородов при тех же параметрах в бензине А92 — от 2,6 до 34 мг/л [4].

Наличие эмульгированных нефтепродуктов характеризуется взаимодействием нефтемасел в стоках с синтетическими поверхностно-активными веществами, преимущественно анионного типа [5]. Масляные эмульсии, попадающие в сток, представляют собой коллоидные растворы, состоящие из капелек минерального масла, окруженных ионами эмульгатора (органической кислотой). Особенностью их является то, что формирование водонефтяной эмульсии протекает при стабилизации ее структуры за счет участия асфальтосмолистых веществ и содержащихся в сточных водах мелкодисперсных твердых частиц (глины, песка). При контакте твердых частиц с полярными органическими веществами из-за слабой смачиваемости происходит процесс флотации твердых частиц воздухом и силы поверхностного натяжения в жидкой фазе начинают преобладать над силой тяжести частиц диаметром менее 0,1...0,15 мм. Вследствие этого образуется стойкая эмульсия типа вода (масло), включающая агрегаты твердых частиц и воздуха. Кроме того, высокая стабильность этих сточных вод определяется эмульгирующими и стабилизирующими свойствами ПАВ [5]. Использование последних для очистки и мойки автотранспорта приводит к образованию вредных по составу сточных вод, содержащих устойчивые фракции и суспензии с высокой степенью дисперсности [6]. Присутствие в воде ПАВ приводит к образованию устойчивой пышной пены, которая нарушает работу датчиков уровня воды и затрудняет работу очистного оборудования<sup>1</sup>. Удаление данных нефтепродуктов наиболее сложная и дорогостоящая задача, требующая детального изучения и анализа оптимальных способов очистки сточных вод.

Глубокая очистка от мелкодисперсных, особенно эмульгированных, нефтепродуктов до 10 мг/л достигается в процессах фильтрования. Удаление растворенных примесей до 0,5...1 мг/л происходит на стадии сорбционной доочистки [7, 8].

В настоящее время все большее применение для очистки сточных вод находят сорбционные методы. В литературе описаны многочисленные способы получения сорбентов и фильтрующих материалов для очистки воды от нефтепродуктов и технологические схемы их применения.

Так, в качестве фильтрующих загрузок эффективно используются различные нефтяные сорбенты, рассмотренные в работе [9], — аргиллит, перлит, которые по прочности и химической стойкости удовлетворяют техническим требованиям для сорбционных материалов. Однако в процессе фильтрования такие материалы демонстрируют более низкую нефтеемкость слоя и требуют для улучшения сорбционных свойств дальнейшей модификации. Долгое время в качестве сорбентов использовали активные угли, рассмотренные в рабо-

<sup>1</sup> ОНТП-01—91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий для автомобильного транспорта.

те [10], которые демонстрировали хорошую адсорбционную способность, однако они обладают низкой сорбционной емкостью по отношению к ПАВ вследствие несоответствия размеров микропор угля с достаточно крупными молекулами поверхностно-активных веществ, что ограничивает их использование [6]. Среди минеральных сорбентов природного происхождения широкое распространение получили глинистые породы, однако в большинстве случаев для улучшения сорбционных свойств их необходимо предварительно обрабатывать термическими или химическими методами, что сказывается на стоимости сорбентов [11, 12].

Зачастую в процессе очистки сточных вод удается улавливать лишь верхний слой всплывающих нефтепродуктов, находящихся в свободном состоянии, а более сложная фракция эмульсий и растворенная в воде нефть остается нетронутой, что существенно снижает эффективность степени извлечения нефтепродуктов. В результате исследований сорбционных свойств сорбентов установлено, что эффективность удаления эмульсий нефтепродукты + ПАВ составляет при использовании диатомитов — 13 %, глин — 20 %, талька — 54 % [6].

Анализ материалов по вопросу очистки сточных вод на строительных площадках приводит к необходимости разработки и подбору эффективной технологии очистки от эмульгированных нефтепродуктов.

В настоящее время особенно перспективными считаются пористые фильтрующие загрузки, позволяющие одновременно удалять мелкодисперсные и растворенные нефтепродукты. Извлечение из воды растворенных нефтепродуктов фильтровальной загрузкой возможно, если используемый материал является сорбентом с развитой структурой пор, доступных для молекул примеси.

Характеристика состава стока является важным параметром при анализе подбора системы очистки. Так, в зависимости от состава примесей, накапливающихся на промышленных площадках, предприятия и отдельные их территории можно разделить на две группы:

- К первой группе относятся предприятия и производства, сток с территории которых по составу примесей близок к поверхностному стоку с селитебных территорий и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. Основными примесями, содержащимися в стоке с территории предприятий первой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах, минеральные соли и органические примеси естественного происхождения. К данной группе относятся предприятия черной металлургии (за исключением коксохимического производства), машино- и приборостроительной, нефтяной, строительной, легкой, пищевой промышленности, серной и содовой подотраслей химической промышленности, энергетики, автотранспортные предприятия, речные порты, ремонтные заводы, а также отдельные производства нефтеперерабатывающих, нефтехимических, химических и других предприятий, на территорию которых не попадают специфические загрязняющие вещества.

- Ко второй группе относятся предприятия, на которые по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с токсичными свойст-

вами или значительных количеств органических веществ, обуславливающих высокие значения показателей ХПК и БПК<sub>20</sub> стока. К ним относятся предприятия цветной металлургии, коксохимического производства, бытовой химии, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, производства химической и электрохимической обработки поверхностей металлов (гальванические производства), окрасочные производства, производства синтетических моющих средств (СМС) и др.<sup>2</sup>

Характеристика сточных вод по основным показателям загрязнений для предприятий первой и второй групп приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Характеристика сточных вод по основным показателям загрязнения для предприятий первой и второй групп*

Показатель	Значение показателей загрязнения, мг/дм <sup>3</sup>	
	Первая группа предприятий	Вторая группа предприятий
Взвешенные вещества	400...4000*	500...2000
Солесодержание	200...300	50...3000
Нефтепродукты	10...30(100*)	До 500
ХПК фильтрованной пробы	100...150**	До 1400
БПК <sub>20</sub> фильтрованной пробы	20...30**	До 400
Специфические компоненты	Отсутствуют	В зависимости от профиля производства содержат тяжелые металлы, фенолы, СПАВ, мышьяк, роданиды, фосфор, аммиак, фтор, жиры, масла, белки, углеводороды и т. д.

\* Высокие значения для предприятий с интенсивным движением транспорта и значительным потреблением горюче-смазочных материалов, а также АЗС.

\*\* С учетом диспергированных примесей эти показатели увеличиваются в 2—3 раза<sup>3</sup>.

Как показали исследования и анализ получаемых данных, любое промышленное производство, в том числе строительное, оказывает огромное влияние на окружающую среду. Процесс образования и накопления загрязняющих веществ на строительных производствах происходит постоянно и в больших количествах, при этом негативное влияние на экологию происходит практически на всех этапах строительства. В связи с этим для районов строительства характерен высокий уровень загрязнения воздуха, воды и почвы. Рассмотрим некоторые негативные воздействия на окружающую природную среду на различных этапах строительства, приведенные в табл. 2 [13].

<sup>2</sup> Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М., 1998.

Постановление Правительства Российской Федерации от 19 декабря 1996 г. № 1504 «О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты».

<sup>3</sup> Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М., 1998.

*Негативные воздействия на окружающую среду  
при различных видах строительных работ*

Виды работ	Основные виды воздействий (экологические проблемы)
Организация строительной площадки	Образование строительного мусора и выезд загрязненного автотранспорта; загрязнение поверхностных стоков; эрозия почвы; изменение ландшафта и т. д.
Транспортные, погрузочно-разгрузочные работы, работа компрессоров, отбойных молотков и др. строительного оборудования	Загрязнение атмосферного воздуха, почвы, грунтовых вод, шумовое загрязнение и пр.
Сварочные, изоляционные, кровельные и отделочные работы	Выбросы в окружающую среду вредных веществ (газы, пыль и т. д.)
Каменные и бетонные работы	Образование отходов и возможность запыления воздуха, вибрационная и шумовая нагрузки

Как видно из табл. 2, влияние строительного производства на экологию достаточно велико и требует внимательного рассмотрения данного вопроса.

При разработке раздела проекта по охране труда и охране окружающей среды проектировщики должны учитывать все негативные воздействия строительного производства на гидросферу, атмосферу и литосферу и рекомендовать меры по минимизации такого влияния. При этом вопросы строительного мусора являются преодолемыми проблемами, вариантами решений которых являются установка бункеров-накопителей или организация специальной площадки для сбора мусора с последующей транспортировкой его при помощи закрытых лотков, а также вывоз мусора и лишнего грунта в места, определенные заказчиком, преимущественно на существующие свалки.

Для предотвращения экологических проблем, связанных с выбросами в атмосферу (цемента, извести, гипса, пыли, мелкодисперсной глины и др.), необходимо оборудовать места проведения погрузочно-разгрузочных и других «пыльных» работ пылеулавливающими устройствами. Кроме того, необходимо обеспечить автотранспорт, перевозящий сыпучие грузы, съемными тентами.

Наименее изучен вопрос очистки сточных вод, образующихся при мойке колес автотранспорта обслуживающего строительные производства [14].

В процессе своей эксплуатации на строительных площадках автотранспорт сильно загрязняется и требует периодической обмывки. На рисунке представлены фотографии загрязненной поверхности автотранспорта.

Наибольшее количество загрязнений в сточных водах образуется при мойке автотранспорта, входящего в регламент ежедневного технического обслуживания, а также их агрегатов и деталей.

Авторы данной статьи провели исследование по определению концентрации загрязняющих веществ в сточных водах после мойки автотранспорта. Согласно полученным значениям основными загрязнителями стоков являются механические примеси, нефтепродукты, частички асфальта и песка [15]. В таблице 3 приведены результаты полученных значений количества загрязнителей в сточных водах от мойки автотранспорта [16, 17].



Загрязненные поверхности автотранспорта

Т а б л и ц а 3

*Полученные значения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на строительных площадках в сравнении с нормативами*

№ п/п	Наименование показателя	Концентрация, мг/л	СанПиН	ПДК РХ
1	рН	7...7,5	2.1.5.980	6,5...8,5
2	Взвешенные вещества	2500...5000	0,75	0,25
3	Нефтепродукты	30...80	0,3	0,05

Как видно из представленных в табл. 3 данных, сточные воды от мойки автотранспорта отличаются высокой концентрацией органических загрязнений и взвешенных веществ.

Таким образом, исследования показали:

1. Сточные воды, образующиеся после мойки автотранспорта, содержат превышающие нормативы концентрации нефтепродуктов и взвешенных веществ.

2. Для данного типа сточных вод, загрязненных нефтепродуктами и взвешенными, требуется подбор и внедрение эффективной технологии очистки, которая отвечала бы всем требуемым условиям [18, 19]:

- минимальный сброс сточных вод в водоем;
- максимальное извлечение ценных нефтесодержащих компонентов и дальнейшее их использование во всевозможных отраслях, например в строительстве, дорожном хозяйстве;
- применение оборотного водоснабжения и использование очищенных сточных вод в технических процессах.

В связи с этим авторы данной работы предлагают для очистки стоков использовать комбинированные методы: отстаивание с последующим сорбционным извлечением загрязняющих веществ. При этом в качестве сорбционного материала предлагается использовать природный алюмосиликатный материал — опоку, которая обеспечивает максимальную степень очистки [20, 21].

Результаты проведенных испытаний сорбционного процесса извлечения загрязнителей из сточных вод позволили разработать схему очистки сточных

вод с использованием алюмосиликатного природного материала. Согласно полученным данным, предлагаемая технология позволяет очищать загрязненные сточные воды до показателей, позволяющих использовать очищенную воду в дальнейшем оборотном цикле водопользования. Исследуемые сорбционные материалы показали высокую степень очистки от нефтепродуктов, содержание которых, как показали исследования, в мочевых водах автотранспорта превышает требуемые показатели в несколько сотен раз [22, 23].

Немаловажным достоинством сорбционной технологии является простота аппаратного оформления и возможность полной или частичной автоматизации всего процесса в целом, а также отдельных его частей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Fleer G. J., Lyklema J.* // J. Coll. Int. Sci., 1974. Vol. 46. № 1. P. 1.
2. Книга компании «Налко» о воде / под ред. Ф. Н. Кеммера. McGraw-Hill Book Company.
3. *Safranek H.* Time is running out // Plat. And Surf. Finish. 1988. Pp. 16—20.
4. Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов / Т. В. Черненко, Г. К. Иматуллина, Д. А. Резуанов, А. Т. Киреева, А. К. Халитов // Проблемы и перспективы современной науки : материалы IV Международной телеконференции «Фундаментальные науки и практика». Т. 3. № 1. Томск. 2011.
5. *Муратова Л. А., Гольдин А. Я., Молодов П. В.* Водопотребление и водоотведение автотранспортных и авторемонтных предприятий. М. : Транспорт, 1988. 207 с.
6. *Алексеев Е. В.* Физико-химическая очистка сточных вод : учебное пособие. М. : Ассоциация строительных вузов, 2007. 248 с.
7. *Рябчиков В. Е.* Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М. : ДеЛиПринт, 2004. 300 с.
8. *Crist Ray H., Martin J. R.* Use of a novel formulation of kraft lignin for toxic metal removal from process waters // Separ. Sci. and Technol. 2004 Vol. 39. № 7. Pp. 1535—1545.
9. Исследование сорбционных свойств гидрофобных органических адсорбентов в различных условиях эксплуатации / А. В. Перфильев, А. А. Юдаков, А. Д. Арефьева, Т. В. Ксеник. Владивосток, 2012.
10. *Futao Zhang, Fang Shaoming.* Gongyeshui chuli Ind // Water Treat. 2003. № 6. Pp. 25—27.
11. *Журба М. Т.* Пенополистирольные фильтры. М. : Стройиздат, 1992. 176 с.
12. *Касаткин А. Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. М. : Альянс, 2005. 753 с.
13. *Князева В. П.* Экология. Основы реставрации. М., 2005. С. 158.
14. Повышение эффективности проведения операционного контроля путем использования современного устройства контроля проектного положения стропильных конструкций / О. П. Радченко, Д. П. Клочков, Р. А. Матвеев, Д. В. Куранов // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4909](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4909).
15. *Луканин В. Н., Трофименко Ю. В.* Промышленно-транспортная экология : учебник для вузов / Под ред. В. Н. Луканина. М. : Высш. шк., 2001. 273 с.
16. *Радченко О. П.* Очистка сточных вод на автотранспортных предприятиях // Научная перспектива. 2011. № 10. С. 91—92.
17. *Яковлев С. В., Воронов Ю. В.* Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов. М. : АСВ, 2004. С. 253.
18. *Мовчан В. Н., Зубкова П. С., Питулько В. М.* Формирование критериальной базы экологической оценки состояния урбанизированных территорий // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2017. № 3. С. 266—279.
19. *Елисеева Т. П., Ежова И. М., Лакирбая И. Д.* Исследование воздействия техногенных факторов на окружающую среду с целью обоснования управленческих решений по обеспечению экологической безопасности регионов России // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361).
20. *Mikula R. J. Munoz V. A.* Characterization of Demulsifiers in Surfactants, Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry, Schramm, L. L. (Ed.), Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2000. Pp. 51—78.
21. *Маколова Л. В.* Проблема снижения негативного воздействия транспортной сферы на окружающую среду на основе функционирования механизма избавления от отработанных масел // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1763](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1763).

22. Daley J. A Geological “Orrery” Could Reveal Planetary Dynamics in Deep Time // Scientific American. April 9, 2019. Pp. 78—85.

23. Farajzadeh M. A., Monji A. B. Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations // Separ. and Purif. Technol. 2004. Vol. 38. № 2. Pp. 197—207.

© Москвичева Е. В., Радченко О. П., Клочков Д. П., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Москвичева Е. В., Радченко О. П., Клочков Д. П. Состав сточных вод, образующихся после обмыва автотранспорта на строительных площадках // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 182—189.

Об авторах:

**Москвичева Елена Викторовна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Радченко Ольга Петровна** — учебный мастер кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [olga.radchenko82@mail.ru](mailto:olga.radchenko82@mail.ru)

**Клочков Дмитрий Петрович** — канд. техн. наук, доцент, преподаватель кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [look\\_back-in@mail.ru](mailto:look_back-in@mail.ru)

**Elena V. Moskvicheva, Olga P. Radchenko, Dmitrii P. Klochkov**

**Volgograd State Technical University**

## THE COMPOSITION OF WASTEWATER GENERATED AFTER WASHING OF VEHICLES AT CONSTRUCTION SITES

The paper considers the issue of environmental protection in construction industries. The types of environmental pollution in certain types of construction work are determined. Measures to improve the environmental friendliness of these works are considered. The main types of measures aimed at protecting the environment from harmful effects are identified. Recommendations are given on the treatment of wastewater generated when washing vehicles at construction sites.

**Key words:** construction industry, construction waste, wastewater, treatment technology, motor vehicles, sorbent, environment, ecology, car wash, pollutant.

*For citation:*

Moskvicheva E. V., Radchenko O. P., Klochkov D. P. [The composition of wastewater generated after washing of vehicles at construction sites]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 182—189.

*About authors:*

**Elena V. Moskvicheva** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Olga P. Radchenko** — Master of Technologies of Construction Operations Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [olga.radchenko82@mail.ru](mailto:olga.radchenko82@mail.ru)

**Dmitrii P. Klochkov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Lecturer Technologies of Construction Operations Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [look\\_back-in@mail.ru](mailto:look_back-in@mail.ru)

УДК 544.6

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

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ОЧИСТКА ХРОМОСОДЕРЖАЩИХ ВОД ЭЛЕКТРОДИАЛИЗОМ В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ**

Изучено влияние параметров импульсного электролиза (амплитуды, формы, частоты тока) на процессы электролиза ионов из гальваносток электролитов хромирования и из сточных вод.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** электролиз, гальваносток, импульсный электролиз.

Проблема охраны окружающей среды от промышленного загрязнения является одной из важнейших экономических и социальных задач, решение которой в первую очередь направлено на обеспечение воспроизводства и рационального использования ресурсов.

Радикальным решением проблемы сохранения природных ресурсов, в том числе и водной среды, является создание и внедрение безотходных технологических процессов.

Разнообразный ассортимент применяемых гальванических покрытий в гальванотехнике обуславливает многообразие загрязнений, находящихся в сточных водах. Гальваносток включают в себя разбавленные стоки (промывные воды) и концентрированные растворы (обезжиривающие и травильные электролиты). Существенным резервом при очистке сточных вод является использование электрического тока, при котором происходит прямое превращение электрической энергии в энергию химических реакций. Для каждой из групп загрязнений существуют свои методы очистки. Одним из таких методов является метод использования электрического тока, в частности использования электролиза [1, 2]. Несмотря на очевидные теоретические преимущества метода электролиза, необходимо найти критерии по предотвращению образования осадков в мембранах, разработки новых технологий, позволяющих утилизировать концентраты и получать техническую воду.

Импульсный электролиз относится к перспективным методам электрообработки водных сред [3—5]. Путем изменения амплитуды, формы и частоты тока можно управлять электрохимическим процессом диализа. Качественные изменения процесса электролиза при импульсном режиме проявляются в возможности более гибкого регулирования реакции депассивации электродов, повышения скорости реакции и производительности электролизеров.

В работе изучено влияние параметров импульсного тока на процесс электролиза ионов из водных растворов. Исследования проводили с электролитами хромирования с концентрацией  $\text{CrO}_3$  от 150 мг/л до 1600 мг/л и концентрацией железа от 6 мг/л до 40 мг/л. Кроме этого, были проведены исследования с реальными сточными водами следующего состава: хром (III) — 60,7 мг/л, хром (VI) — 5,8 мг/л, хром (общ.) — 66,5 мг/л, сульфаты — 57,5 мг/л, железо (III), медь (III) — 5,5 мг/л.

Для очистки растворов использовался электролизер, состоящий из трех камер с мембранами МК-4ОЛ, МА-4ОЛ. Объем каждой из камер — 4 литра. В качестве анода использовался титановый электрод с рутениевым покрытием, в качестве катода — стальной электрод.

В исследованиях с использованием периодического тока в схему установки для проведения процесса диализа подсоединялся медный кулонометр, который позволил точно измерить количество электричества, прошедшее через электродиализатор [6]. Через равные промежутки времени проводилось измерение приращения массы катода кулонометра.

Для сопоставимости результатов исследования проводили на постоянном и импульсном токах. Результаты экспериментов представлены на рис. 1 и 2.

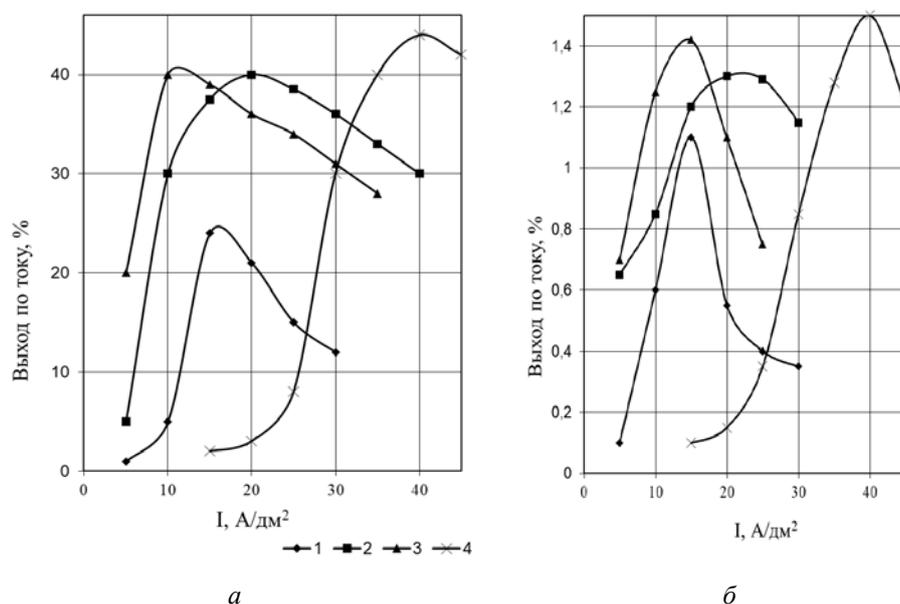


Рис. 1. Выход по току ионов хрома (А) и железа (Б) при электродиализе хром-содержащих сточных вод: 1 — на постоянном токе; 2 — на импульсном токе частотой 50 Гц; 3 — на импульсном токе частотой 1000 Гц; 4 — на импульсном токе частотой 510 Гц

Таким образом, анализируя полученные данные, видно, что при работе электродиализатора на постоянном токе экономически целесообразно обрабатывать сточные воды с концентрацией загрязнения 1000 мг/л и более (кривая 1, рис. 1). С уменьшением концентрации загрязняющих ионов (кривые 2, 3, рис. 2) в обрабатываемом растворе происходит снижение плотности тока, увеличивается сопротивление раствора, ток начинает расходоваться на побочные процессы: происходит выделение кислорода и водорода на электродах; изменение рН у поверхности мембран (кривая 4, рис. 2), вызывающее процесс осадкообразования. Переход на импульсный режим электродиализа позволяет вести эффективную обработку сточных вод с меньшей концентрацией загрязнений (100...150 мг/л), при этом выход по току ионов железа и хрома в 1,5—2 раза выше, а энергозатраты в 4—5 раз меньше, чем при постоянном токе. Время обработки сокращается в 2 раза.

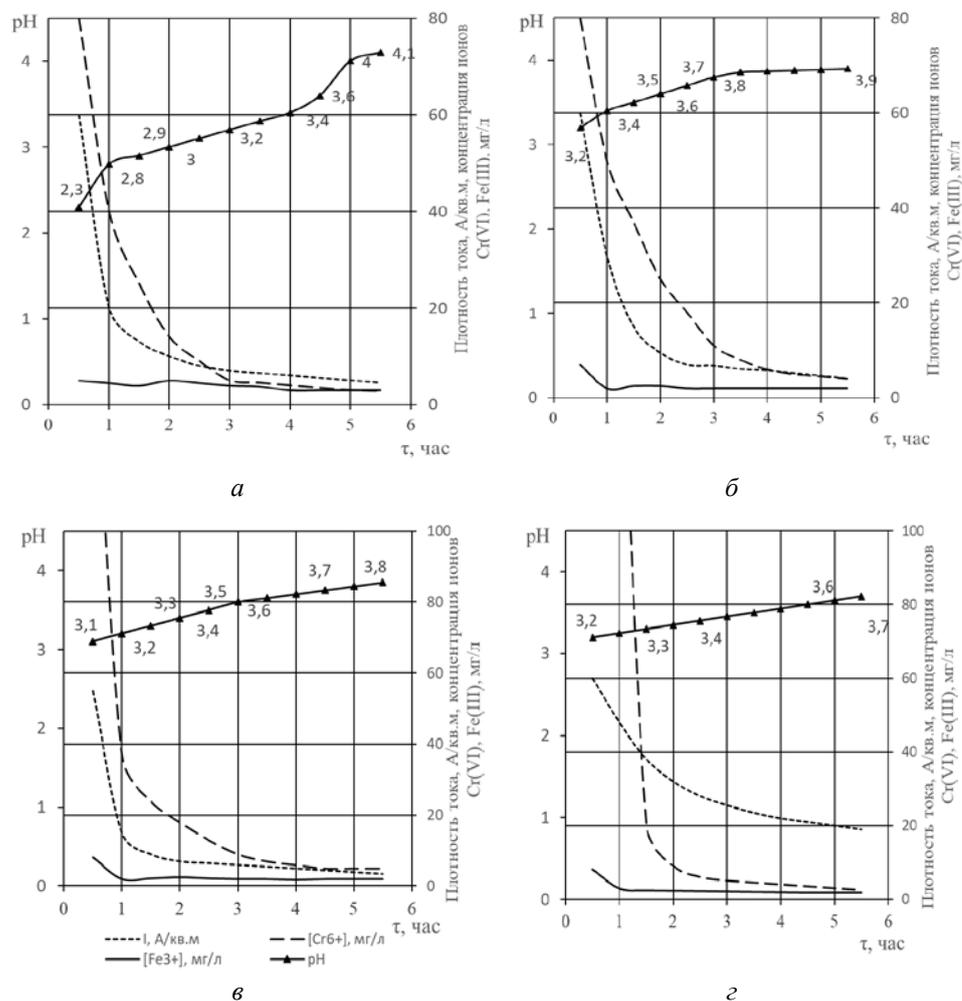


Рис. 2. Изменение плотности тока  $I$ ,  $A/m^2$ , концентрации ионов хрома  $Cr^{6+}$  и ионов  $Fe^{3+}$ , мг/л, и pH на постоянном (а) и импульсном токе частотой 50 Гц (б), 1000 Гц (в), 510 Гц (г)

Установлено, что проведение электродиализа на импульсном униполярном токе позволяет активно влиять на образование осадков. Так, pH приембранного слоя при повышении плотности тока от 1,0 до 4,0  $A/dm^2$  на резонансной частоте изменяется на 1—1,55 единицы (рис. 3), тогда как на других частотах и на постоянном токе на 2—5 единиц. Значения pH образования гидроксида хрома и гидроксида железа в 1M растворах составляют  $Cr(OH)_3$  — 4,0,  $Fe(OH)_2$  — 6,5 соответственно [7]. При проведении электродиализа на импульсном токе значения pH образования гидроксидов в 1M растворах  $Cr(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_2$ ,  $Fe(OH)_3$  равны 4; 6,5; 1,5 соответственно, а в 0,01M — 4,7; 7,5 и 2,3. Таким образом, изменяя частоту и скважность импульсного тока, можно регулировать величину pH приембранного слоя и тем самым активно влиять на процесс осадкообразования на мембранах.

На процесс электродиализа ионов из водных растворов оказывает влияние частота поляризующего импульса. Известен ряд работ [8—11], в которых

рассмотрено влияние частоты переменного тока на разделение ионов. В работах было отмечено, что при определенных значениях резонансной частоты увеличивается подвижность определенного сорта ионов.

Предлагаемый способ электродиализа на импульсном униполярном токе показал ряд преимуществ. Так, использование импульсного тока однополупериодного выпрямления (без обратного импульса) определенной частоты, которая совпадает с частотой колебаний удаляемого иона, находящегося на границе раствор — мембрана (явление резонанса), позволяет увеличить скорость движения ионов настолько, что на его пути не успевает создаваться ионная атмосфера, т. е. снижается релаксационное торможение. Отсутствие ионной атмосферы уменьшает и электрофоретический эффект.

Дальнейший перенос ионов осуществляется в фазе мембраны. Движение ионов в мембране определяется в основном соотношением между их размерами и плотностью среды. При внедрении в фазу мембраны ион преодолевает некоторый энергетический барьер, и дальнейшее передвижение иона можно рассматривать как скачкообразное перемещение от одной функциональной группы к другой, также связанное с преодолением потенциального барьера. Ионы, лишённые ионной атмосферы и получившие дополнительное ускорение за счет резонанса, будут гораздо быстрее преодолевать указанные энергетические барьеры. Анализируя работу ионообменной мембраны в электродиализном процессе, следует учитывать два основных потока ионов через мембрану: 1) движение прямого потока ионов, например катионов через катионообменную мембрану, определяемого в основном градиентом приэлектродного потенциала, который, в свою очередь, влияет на последовательность разряда ионов; 2) обратный

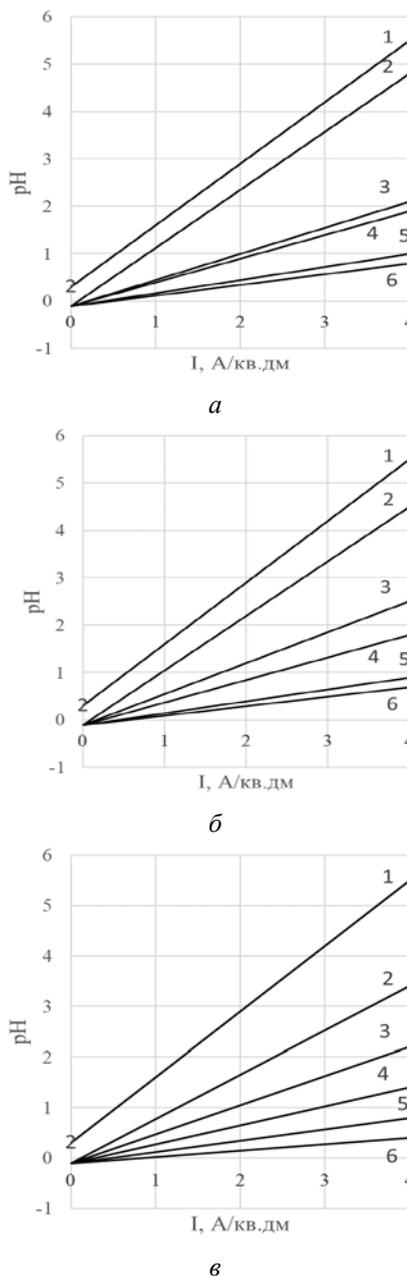


Рис. 3. Изменение pH приембранного слоя в зависимости от плотности тока  $I$ ,  $A/дм^2$ , при скважности импульсов: 2 (а), 5 (б), 10 (в); 1 — постоянный ток; 2, 3, 4, 5 — импульсный ток произвольной частоты; 6 — импульсный ток резонансной частоты

поток, определяемый концентрационным градиентом ионов в мембране. Использование импульсного тока электрохимической резонансной частоты позволяет регулировать количественный и качественный состав ионов прямого потока, а наличие пауз между импульсами, где напряженность электрического поля падает, позволяет снизить концентрационный градиент ионов в мембране и примембранном слое.

По результатам проведенных исследований определены оптимальные параметры работы электродиализаторов на импульсном токе.

#### **Выводы:**

1. Эффективность электродиализной очистки пропорциональна плотности тока как в стационарном, так и в нестационарных режимах. Использование постоянного тока для питания электродиализаторов лимитируется ограничением увеличения плотности тока, связанным с возрастанием концентрационной поляризации у поверхности мембран, что влечет за собой снижение выхода по току удаляемых ионов, возрастания омических потерь и в конечном итоге снижение пропускной способности установки.

2. Проведение электродиализа в импульсном режиме позволяет получить в импульсах более высокие мгновенные значения плотности тока при одинаковой со стационарным режимом средней плотности тока.

3. Импульсный режим электродиализа позволяет, наряду с плотностью тока, регулировать частоту и скважность. Подбор оптимальных параметров импульсного тока дает возможность увеличить скорость, селективность очистки, препятствуя возрастанию концентрационной поляризации, позволяет регулировать количественный и качественный состав разделяемых ионов.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гребенюк В. Д. Электродиализ. Киев : Техника, 1976. 160 с.
2. Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М. Технология электрохимической очистки воды. Л. : Стройиздат, 1987. 312 с.
3. Слипченко А. В., Максимов В. В., Кульский Л. А. Современные малоизнашивающиеся аноды и перспективы развития электрохимических технологий водоподготовки // Химия и технология воды. 1993. Т. 5. № 15. С. 180—231.
4. Pesco A. M., Cheh H. Y. Theory and Applications of Periodic Electrolysis // Modern Aspects of Electrochemistry. 1989. Vol. 19. Pp. 251—293.
5. Опреснение воды электродиализом в импульсном режиме / М. И. Пономарев, О. Р. Шендрик, В. Д. Гребенюк, Ю. А. Антонов и др. // Химия и технология воды. 1989. Т. 11. № 1. С. 58—60.
6. Каданер Л. И. Справочник по гальваностегии. Киев : Техника, 1976. 254 с.
7. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1989. 446 с.
8. Марков Л. Е., Образцов С. В. Применение нестационарных методов в электрохимической технологии. Томск : Томский политехнический институт, 1988. 83 с.
9. Дытнерский Ю. И., Еременко М. Г., Моргунова Е. П. Использование асимметричного тока для мембранного разделения растворов // Химическая промышленность. 1988. № 8. С. 473—474.
10. Никитина О. А., Топоров Б. А. Регенерация хромсодержащих вод в гальванотехнике // Энергосберегающие и малоотходные технологии в гальваническом производстве : материалы краткосрочного семинара. Л., 1988. С. 37—40.
11. Вурдова Н. Г. Очистка хромсодержащих сточных вод электродиализом в нестационарном режиме : дис... на соискание ученой степени кандидата технических наук. Волгоград : Волгоградская государственная архитектурно-строительная академия, 1994. 138 с.

© Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В., 2020

Поступила в редакцию  
в ноябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В. Очистка хромосодержащих вод электродиализом в нестационарном режиме // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 190—195.

Об авторах:

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

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

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

**Valerii T. Fomichev, Galina P. Gubarevich, Aleksei V. Savchenko**

**Volgograd State Technical University**

## ELECTRODIALYSIS WATER CHROMINE-WATER CLEANING IN NON-STATIONARY MODE

The effect of pulsed electrolysis parameters (amplitude, shape, current frequency) on the processes of electrodiagnosis of ions from electroplating of chromium electrolytes and from wastewater was studied.

**Key words:** electrodiagnosis, electroplating, pulsed electrolysis.

*For citation:*

Fomichev V. T., Gubarevich G. P., Savchenko A. V. [Electrodiagnosis water chromine-water cleaning in non-stationary mode]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 190—195.

*About authors:*

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

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

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

УДК 622.691.4.07

**Д. Ю. Суслов, Д. О. Темников**

**Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова**

## **ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ БИОМЕТАНОВОЙ УСТАНОВКИ И СТАНЦИИ ПОДАЧИ БИОМЕТАНА В СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

Статья посвящена актуальной проблеме использования альтернативного источника энергии биометана в системах газоснабжения. Рассмотрены схемы получения и подачи биометана в газовые сети. Разработана математическая модель, позволяющая определить координаты расположения биометановой установки и координаты точки врезки в газопровод, в зависимости от производственной мощности и месторасположения агропромышленных комплексов и мест прокладки существующих газопроводов. С помощью разработанной модели определено местоположение биометановой установки на территории Белгородской области.

**Ключевые слова:** газоснабжение, биогаз, биометан, оптимальное расположение, биометановая установка.

**Введение.** В настоящее время уровень газификации Российской Федерации составляет 68,5 %, в том числе в городах и поселках городского типа — 72 %, в сельской местности — 59,2 %<sup>1</sup>. Лидером по уровню газификации жилого фонда является Южный федеральный округ — 76,3 %, а самый мало газифицированный регион — Уральский федеральный округ, уровень газификации которого составляет 46,7 %, в том числе в городах и поселках городского типа — 54,3 %, в сельской местности — 17,2 %<sup>2</sup>. При этом во всех регионах страны наблюдается более низкий уровень газификации сельской местности по сравнению с городами.

Перспективным направлением развития систем газоснабжения в сельской местности является получение и использование биогаза из органических отходов сельского хозяйства. В разрабатываемом проекте Энергетической стратегии России на период до 2035 г. большое внимание уделяется биогазу и его роли в топливно-энергетическом комплексе России. Обозначена необходимость разработки принципиально новых котельных, работающих на низкокалорийном топливе, выращивание специальных культур с высоким выходом биогаза, обозначен потенциальный объем энергии на территории России<sup>3</sup>.

Для развития биоэнергетики в России ПАО «Газпром» в 2011 г. подписал меморандум о взаимопонимании по «зеленому» газу совместно с компаниями Gasunie, ЗАО «Евротехника» и корпорацией «Биогазэнергострой»<sup>4</sup>.

В развитых странах мира системы получения и использования биогаза получили широкое применение. Лидерами по объему вырабатываемого биогаза являются Китай, Германия, Финляндия и Великобритания (рис. 1) [1].

<sup>1</sup> Уровень газификации в России вырос в 2018 году до 68,5 %. URL: <https://rns.online/energy/Uroven-gazifikatsii-v-Rossii-viros-v-2018-godu-do-685-2019-01-10>.

<sup>2</sup> Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 г.: утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. N 1715-р.

<sup>3</sup> Проект Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года (ЭС-2035). URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920>.

<sup>4</sup> «Газпром» и Gasunie подписали Программу научно-технического сотрудничества на 2013—2015 годы. URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/2013/april/article161038>.

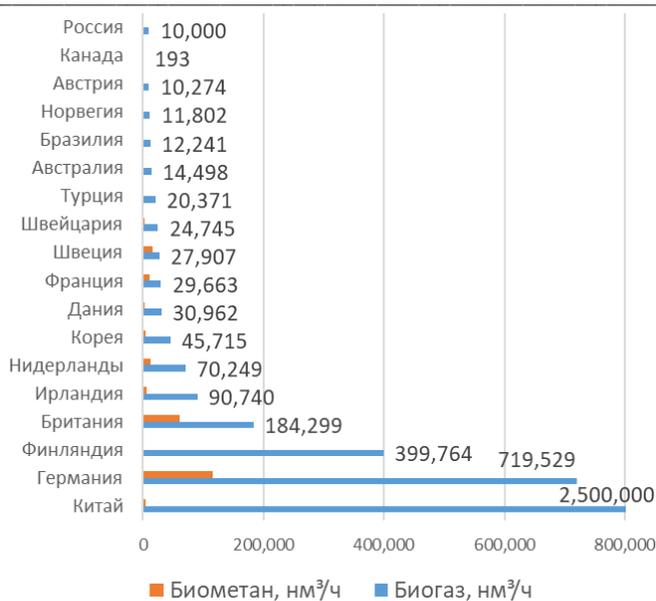


Рис. 1. Количество вырабатываемого биогаза и биометана в разных странах мира<sup>5</sup>

В последнее время актуальным является использование очищенного биогаза в виде биометана, который по компонентному составу является полным аналогом природного сетевого газа. Наибольшее количество биометана вырабатывается в Германии, Великобритании, Швеции и Нидерландах [2, 3]. Количество биометановых установок по странам представлено на рис. 2. В Германии работают 178 установок, в Швеции — 59, а в Великобритании — 37. Большинство биометановых установок (более 200 шт.) подают биометан в магистральные или распределительные газовые сети. Для подачи биометана в магистральные газопроводы необходимо обеспечить большие объемы газа с высоким избыточным давлением (5...7 МПа), что требует установки дополнительной компрессорной станции и приведет к увеличению капитальных затрат. Учитывая, что при получении биометана давление газа, выходящего со станции, достигает 0,3 МПа, более целесообразным является подача биометана в распределительные газопроводы среднего давления.

**Основная часть.** В настоящее время используются различные схемы получения и подачи биометана в зависимости от производительности и расположения сельскохозяйственных предприятий и газовых сетей [4, 5]. Но концептуально их можно разделить на две группы:

- 1) централизованные;
- 2) децентрализованные.

Централизованная схема применяется в районах с большим количеством сельскохозяйственных предприятий, расположенных в непосредственной близости друг от друга. При этом имеет место два варианта централизованной схемы:

- 1) схема с получением биометана в биометановой установке (рис. 3, а);
- 2) схема с получением биометана в станции очистки биогаза (рис. 3, б).

<sup>5</sup> IEA Bioenergy Task 37 — Country Reports Summer 2014 // IEA Bioenergy. 2015. 50 p.

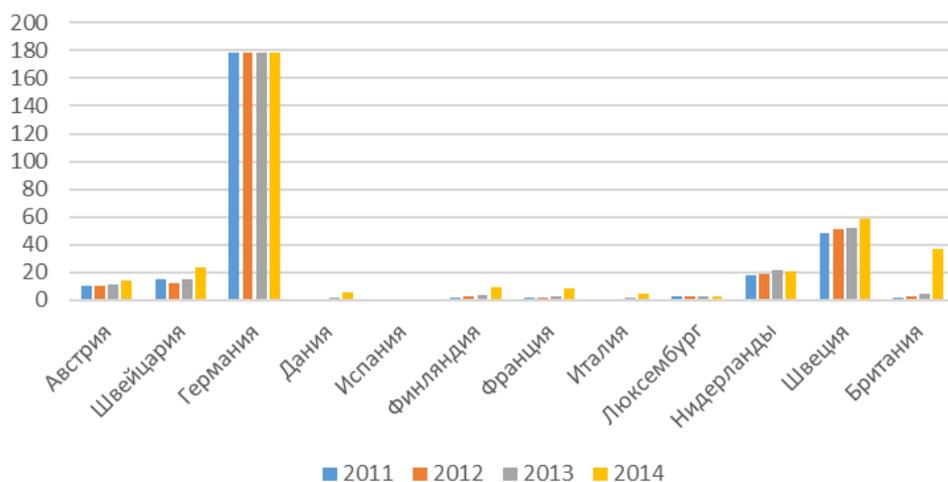


Рис. 2. Количество биометановых установок по странам

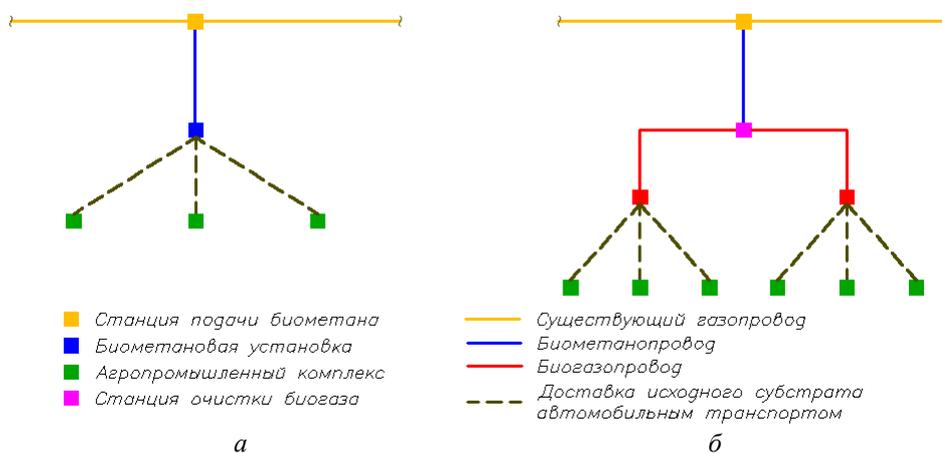


Рис. 3. Централизованные схемы получения и подачи биометана в системы газоснабжения: *а* — получение биометана в биометановой установке; *б* — получение биометана в станции очистки биогаза

Схема с производством биометана в биометановой установке характеризуется большими затратами на доставку исходного субстрата от агропромышленных комплексов до биометановой установки. При этом отходы, как правило, доставляются автомобильным транспортом в тягачах-цистернах. При производстве биометана в станции очистки биогаза повышаются затраты на строительство нескольких биогазовых установок и биогазопроводов для транспортировки биогаза до станции очистки.

При расположении агропромышленных комплексов на значительном расстоянии друг от друга применяется децентрализованная схема, в которой возле каждого агропромышленного комплекса размещается биометановая установка, подающая биометан в ближайший газопровод (рис. 4). При этом возрастают затраты на строительство биометановых установок, что значительно повышает себестоимость производимого биометана.

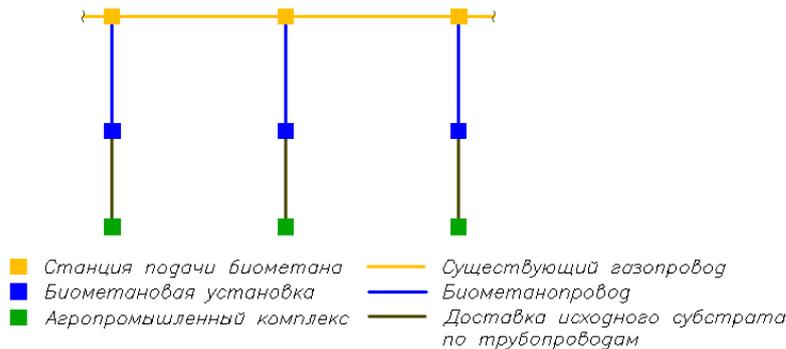


Рис. 4. Децентрализованная схема получения и подачи биометана в системы газоснабжения

Для Белгородской области и других развитых агропромышленных регионов страны целесообразным является использование централизованной схемы получения и подачи биометана. При разработке и проектировании систем газоснабжения с применением биометана актуальной проблемой является определение оптимального места расположения биометановой установки и станции подачи биометана в централизованные газовые сети.

Нахождением оптимального расположения объектов в системах газоснабжения занимались отечественные [6—10] и зарубежные [11—13] ученые. Для определения оптимального расположения объектов систем газоснабжения широкое применение получила модель Вебера, расчетная схема которой представлена на рис. 5 [14].

Рациональное расположение установки заключается в поиске такого местоположения, при котором затраты на транспортировку исходного субстрата и биометана будут минимальными.

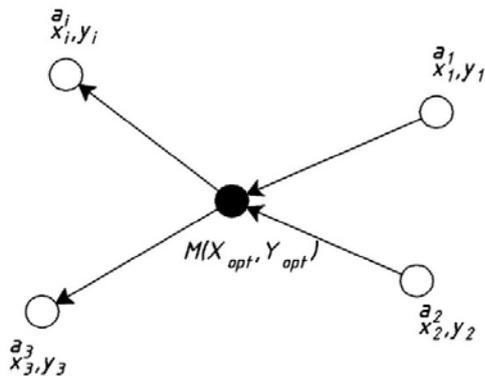


Рис. 5. Расчетная схема модели Вебера

Согласно модели Вебера, координаты расположения биометановой установки  $M(X_{opt}; Y_{opt})$  определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} M(X_{opt}, Y_{opt}) = c \sum a_i r_i; \\ r_i = \sqrt{(X_{opt} - x_i)^2 + (Y_{opt} - y_i)^2}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $c$  — тариф на доставку отходов;  $a_i$  — объем отходов;  $r_i$  — расстояния от источников отходов до биометановой установки;  $x_i, y_i$  — координаты агропромышленных комплексов.

Нормативный расход топлива для грузового автомобиля определяется по формуле<sup>6</sup>:

$$Q_n = 0,01 \cdot (H_{san} \cdot S + H_w \cdot W) \cdot (1 + 0,01 \cdot D), \quad (2)$$

где  $Q_n$  — нормативный расход топлива, л;  $S$  — пробег автомобиля, км;  $H_{san}$  — норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/км;  $H_w$  — норма расхода топлива на транспортную работу, л/100 км;  $W$  — объем транспортной работы, ткм;  $D$  — поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме %.

Норма расхода топлива определяется с учетом массы прицепа:

$$H_{san} = H_s + H_g \cdot G_{пр}, \quad (3)$$

где  $H_s$  — базовая норма расхода топлива на пробег автомобиля, л/100 км;  $H_g$  — норма расхода топлива на дополнительную массу прицепа, л/100 т.км;  $G_{пр}$  — собственная масса прицепа, т.

Объем транспортной работы определяется из выражения:

$$W = G_{гр} \cdot S_{гр}, \quad (4)$$

где  $G_{гр}$  — масса груза, т;  $S_{гр}$  — пробег с грузом, км.

Необходимое количество машин-тягачей определяется исходя из объема груза перевозимого одной машиной:

$$k_i = \frac{G_{ад}}{m_{ном}}, \quad (5)$$

где  $m_{ном}$  — номинальный объем груза, перевозимый одним тягачом, т.

Используя уравнения (1—5), составим выражение для определения оптимального расположения биометановой установки:

$$K \cdot \sum_{i=0}^n (k_i \cdot (H_s \cdot 2 + H_g \cdot G_{пр} \cdot 2 + H_w \cdot m_{ном})) \sqrt{(X_{opt} - x_i)^2 + (Y_{opt} - y_i)^2} = 0, \quad (6)$$

где  $K = 0,01 \cdot (1 + 0,01 \cdot D)$  — поправочный коэффициент.

Используя полученное выражение (6) и уравнение, описывающее расположение трубопровода, составим математическую модель для определения оптимального размещения биометановой установки и точки врезки в газопровод с учетом расположения сельскохозяйственных комплексов и существующих газовых сетей:

$$\left. \begin{aligned} K \cdot \sum_{i=0}^n (k_i \cdot (H_s \cdot 2 + H_g \cdot G_{пр} \cdot 2 + H_w \cdot m_{ном})) \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \cdot (x - x_1) + y_1 - y = 0; \\ \left( \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \right) \cdot (x - X_{opt}) - Y_{opt} + y = 0, \end{aligned} \right\} (7)$$

<sup>6</sup> О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 N АМ-23-р (ред. от 20.09.2018).

где  $x_1, y_1$  и  $x_2, y_2$  — координаты начала и конца прямого участка газопровода;  $x, y$  — координаты станции для подачи биометана в газопровод.

С помощью разработанной математической модели определим оптимальное расположение биометановой установки с объемом биореакторов  $3000 \text{ м}^3$ , расположенной на территории Волоконовского района Белгородской области. В качестве исходных данных были приняты сельскохозяйственные и перерабатывающие предприятия с объемами отходов и координатами на местности, а также координаты расположения газопровода среднего давления. Расчетные данные представлены в таблице 1.

Расчетные параметры

№ п/п	Наименование предприятия	Координаты	Тип продукции	Количество отходов, т/сут.
1	2	3	4	5
1	Птицеводческая фабрика	$x = 609,0$ $y = 488,5$	Молодняк птицы	250
2	Свиноводческий комплекс	$x = 579,0$ $y = 498,0$	Свиньи на откорме	147
3	Волоконовский сахарный завод	$x = 581,5$ $y = 489,5$	Свекольный жом	182,5
4	Газопровод среднего давления	$x_1 = 589,98$ $y_1 = 482,81$ $x_2 = 605,38$ $y_2 = 481,08$	Природный газ	—

В результате расчетов определены координаты оптимального расположения биометановой установки ( $X_{opt} = 583,12$ ;  $Y_{opt} = 490,71$ ) и станции подачи биометана в распределительный газопровод среднего давления ( $x = 582,33$ ;  $y = 483,68$ ) (рис. 4). Для транспортировки субстрата к биометановой установке было определено количество рейсов: от птицеводческого комплекса 6 рейсов/сутки, от свиноводческого комплекса 4 рейса/сутки, от сахарного завода 5 рейсов/сутки.

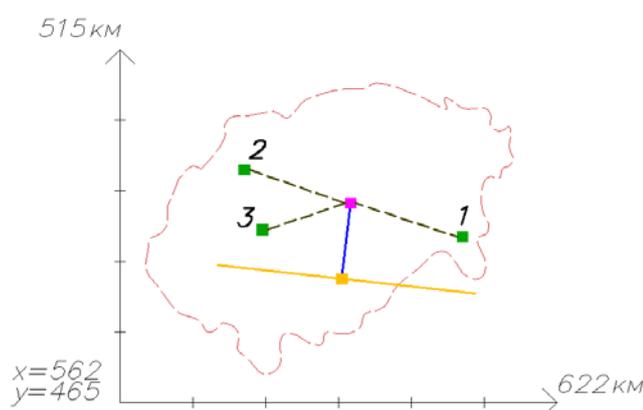


Рис. 6. Схема расположения биометановой установки и станции подачи биометана: 1 — птицеводческий комплекс; 2 — свиноводческий комплекс; 3 — сахарный завод

**Выводы.** Альтернативный источник энергии — биометан — получил широкое распространение в системах газоснабжения развитых стран мира и является одним из перспективных направлений для развития системы газоснабжения Российской Федерации. Рассмотрены принципиальные схемы производства и подачи биометана в централизованные газовые сети.

Разработана математическая модель определения оптимального расположения биометановых установок и станции подачи биометана в централизованные системы газоснабжения. Модель позволяет определить оптимальное местоположение биометановой установки в зависимости от производительности и расположения сельскохозяйственных предприятий и места прокладки газопровода.

Разработанная модель использовалась для определения местоположения биометановой установки объемом биореакторов  $3000 \text{ м}^3$ , расположенной в Волоконовском районе Белгородской области. В результате расчетов были определены координаты расположения биометановой установки ( $X_{opt} = 583,12$ ;  $Y_{opt} = 490,71$ ) и координаты станции для подачи биометана в распределительный газопровод среднего давления ( $x = 582,33$ ;  $y = 483,68$ ).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Scarlat N., Dallemand J.-F., Fahl F.* Biogas: Developments and perspectives in Europe // *Renewable Energy*. 2018. № 129. Pp. 457—472.
2. *Lambert M.* Biogas: A significant contribution to decarbonising gas markets? // *The Oxford Institute for Energy Studies*. 2017.
3. *Suslov D. Y.* Application of Biomethane for Gas Supply Within the Settlements // *Physics: Conference Series*. 2018. № 1066. 012004.
4. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios / B. Wu, X. Zhang, Bao Di, Y. Xu etc. // *Bioresour Technol.* 2016. № 206. Pp.155—163. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.01.086.
5. *Beil M., Beyrich W.* Biogas upgrading to biomethane // *The biogas handbook*. 2013. Pp. 342—377.
6. Цели и задачи оптимизации сетей газораспределения / Ю. А. Табунщиков, В. И. Прохоров, О. Н. Брюханов, В. А. Жила и др. // *Вестник МГСУ*. 2012. № 4. С. 73—77.
7. *Медведева О. Н.* Разработка эффективных газораспределительных систем: дисс... докт. техн. наук. Саратов : СГТУ им. Ю. А. Гагарина. 2015.
8. *Фролов В. О.* Разработка рациональных схем автономного газоснабжения на базе сжиженного природного газа : дисс... канд. техн. наук. Саратов : СГТУ им. Ю. А. Гагарина. 2014.
9. *Осипова Н. Н.* Разработка научных основ совершенствования региональных и поселковых систем снабжения сжиженным газом : дис... докт. техн. наук. Саратов : СГТУ им. Ю. А. Гагарина. 2015.
10. *Котельников Н. С.* Разработка комплексного метода оптимизации размещения станции газоснабжения сжиженным углеводородным газом : дис... на соискание канд. техн. наук. Воронеж : ВГАСУ, 2003.
11. *Weidenaar T. D.* Designing the biomethane supply chain through automated synthesis. Enschede : University of Twente, 2014. 188 p.
12. *Hussey B.* Biogas injection into the Natural Gas Grid // *Consultation Paper. The Commission for energy regulation*. Dublin, 2013.
13. *Wu Y., Lai K. K., Liu Y.* Deterministic global optimization approach to steady-state distribution gas pipeline networks // *Optimization and Engineering*. 2007. Vol. 8. № 3. Pp. 259—275.
14. *Лукинцкий В. С., Лукинцкий В. В.* Модели и методы теории логистики : учебное пособие / Под ред. В. С. Лукинцкого. 2-е изд. СПб., 2007. 444 с.

© Суслов Д. Ю., Темников Д. О., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Суслов Д. Ю., Темников Д. О. Оптимальное расположение биометановой установки и станции подачи биометана в системы газоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 196—203.

*Об авторах:*

**Суслов Денис Юрьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В. Г. Шухова). Российская Федерация, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46; [suslov1687@mail.ru](mailto:suslov1687@mail.ru)

**Темников Дмитрий Олегович** — аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ им. В. Г. Шухова). Российская Федерация, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46; [leovante@live.ru](mailto:leovante@live.ru)

**Denis Yu. Suslov, Dmitry O. Temnikov**

**Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov**

## THE OPTIMUM LOCATION OF THE BIOMETHANE PLANT AND THE STATION FOR FEEDING BIOMETHANE TO THE GAS SUPPLY SYSTEMS

The article is devoted to the urgent problem of using an alternative source of biomethane energy in gas supply systems. The schemes for producing and supplying biomethane to gas networks are considered. A mathematical model has been developed to determine the coordinates of the location of the biomethane installation and the coordinates of the point of insertion into the gas pipeline, depending on the production capacity and location of agricultural complexes and the locations of existing gas pipelines. Using the developed model, the location of the biomethane installation in the territory of the Belgorod region was determined.

**Key words:** gas supply, biogas, biomethane, optimal location, biomethane plant.

*For citation:*

Suslov D. Yu., Temnikov D. O. [The optimum location of the biomethane plant and the station for feeding biomethane to the gas supply systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 196—203.

*About authors:*

**Denis Yu. Suslov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation; [suslov1687@mail.ru](mailto:suslov1687@mail.ru)

**Dmitry O. Temnikov** — Postgraduate student of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation; [leovante@live.ru](mailto:leovante@live.ru)

УДК 697.34

**С. В. Чичерин**

*Омский государственный университет путей сообщения*

**РЕЗЕРВЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ СЕТЕЙ  
И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ:  
АНАЛИЗ ПРОЕКТНОЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

В связи с увеличением объемов строительства, а значит, и подготовки проектной и исполнительной документации задача исследования путей уменьшения потерь тепловой энергии становится актуальной. Цель настоящей работы — обобщить сложившийся в экспертизе документации опыт, для достижения которой решены задачи оценки степени влияния принятых на этапах проектирования и строительно-монтажных работ решений на основные эксплуатационные характеристики: величины тепловых потерь и надежности.

Объектом исследования стала рабочая документация на строительство новых тепловых сетей для объектов, находящихся в городах: Екатеринбург, Казань, Санкт-Петербург и др. Расчет тепловых потоков выполнялся по формулам согласно СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

**Ключевые слова:** трубопровод, толщина, строительство, изоляция, теплоизоляционный, надежность, покрытие, теплоноситель.

**Введение.** Более 80 домов в г. Томске в 2019 г. вошли в программу АО «Томск РТС» по восстановлению тепловой изоляции тепловых сетей, проходящих по подвальным помещениям жилых домов. Обновление 15 км теплотрасс обойдется организации чуть более чем в 12 млн рублей. Одновременно другой компанией, находящейся в составе группы «Интер РАО» — ООО «БашРТС», с 2015 г. в г. Уфе реализуется инвестиционный проект по реконструкции тепломагистрали № 25, представляющий собой строительство семикилометрового участка тепловых сетей диаметром 800 мм в ППУ-теплоизоляции. Срок окончания реализации проекта — 2030 г., его цель — замена существующего теплопровода диаметром 700 мм для улучшения гидравлических режимов существующих и подключения перспективных потребителей.

В связи с увеличением объемов строительства, а значит, и подготовки проектной и исполнительной документации задача исследования путей уменьшения потерь тепловой энергии становится более актуальной. И если в России инвестиционные проекты и технические перевооружения обычно касаются расширения или замены элементов существующих СЦТ с сохранением традиционных технологий [1], то в Европейском Союзе активно внедряются НВИЭ. В контексте выбранной темы интересна работа Гумперта и др. [2], которые делают вывод о снижении потребления энергоресурсов на 29 % в год и ресурса трубопроводов тепловых сетей на 39...49 % при совместной работе геотермальных источников теплоснабжения и теплоисточников на ископаемых видах топлива. Тепловые потери являются одним из наиболее рассмотренных аспектов в сфере теплоснабжения [3, 4], но чаще затрагивается какая-либо конкретная область, например тонкопленочные покрытия в качестве теплоизоляции в работе [4] или даже применение наноматериалов в работе [5].

Тепловые потери также являются предметом исследования [6], однако анализ не предполагает работу СЦТ в расчетных гидравлических и тепловых режимах. Уэн и др. [7] показали актуальность измерения тепловых потерь на базе лабораторных моделей и действующих трубопроводов при помощи приборов, результаты их работы не применимы в связи с использованием аналитических (расчетных) в настоящей работе.

Очевидно, что именно проектная и исполнительная документация — это те элементы, от которых напрямую зависит возможность эксплуатации оборудования, его надежность и показатели эффективности, а также вероятность достижения оборудованием заданного срока службы. При этом статей, посвященных документации немного, даже при исследовании исполнительной документации чаще рассматривается лишь отдельный аспект, например земляные работы [8], а математической модели при этом не приводится.

В работе [9] акцент делается на работе конкретного отдела, конкретных специалистов, должностные обязанности которых от организации к организации могут существенно отличаться. С точки зрения надежности основной причиной повреждаемости трубопроводов тепловых сетей является наружная коррозия, что неоднократно отражалось в публикациях отечественных и зарубежных авторов [10—12], однако не связывалось с принятыми проектными решениями.

Таким образом, не сделано попыток достичь заявленной в настоящей работе цели — обобщить сложившийся в экспертизе документации опыт, отсутствует унифицированный подход к решению задач оценки связи, принятого на этапе проектирования и строительно-монтажных работ решения и эксплуатационных характеристик, в том числе величины тепловых потерь и надежности.

**Методы.** Объектами исследования стали следующие пакеты документов:

- Проектная документация по объекту «Строительство тепловой сети для подключения к системе централизованного теплоснабжения объекта капитального строительства: „Объект торговли по улице Патриса Лумумбы — Братская”» (г. Екатеринбург).

- Рабочая документация на строительство новых тепловых сетей для теплоснабжения многоквартирного жилого дома, состоящего из корпусов 1, 2, 3 по адресу: Ленинградская область, Кингисеппский муниципальный район, пос. Усть-Луга, квартал «Ленрыба».

- Проект реконструкции магистрального тепловода № 8 на участках: от Павильона № 15 до Н. О. в сторону ТК8-47 и до ТК8-50 по ул. Чистопольской (г. Казань).

- Комплект чертежей на реконструкцию тепловых сетей в квартале 7В БКА, по адресам: пр. Испытателей, д. 11 корп. 1, 2; д. 13, д. 15 корп. 1, 3; аллея Поликарпова, д. 6 корп. 2, 8 корп. 1 (Невский район г. Санкт-Петербурга) и др.

Для оценки резервов снижения тепловых потерь сетей и повышения надежности теплоснабжения моделировалось проведение ремонтных работ на теплотрассе 2Ду 600 мм, относящейся к магистральным тепловым сетям и первой категории надежности теплоснабжения.

В соответствии с Правилами промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее

под избыточным давлением (серия 20, выпуск 16, приказ от 25.03.2014 № 116), трубопровод не имеет категории опасности, относится к III классу опасности.

В соответствии с табл. 9 технического регламента Таможенного союза (Евразийского экономического союза) «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013) такой трубопровод относится к оборудованию 1-й категории.

Пример расчета толщины тепловой изоляции выполнен для теплотрассы Ду 600 мм надземной прокладки, находящейся в г. Омске, где температура наружного воздуха (окружающей среды) согласно СП 131.13330.2012 составляет 1,7 °С. В 2019—2020 годы планируется введение в действие актуализированной редакции СП 131.13330.2018 «Строительная климатология»:

Согласно официальному ответу Минстроя до ввода в силу постановлением № 1521 новой редакции СП требуется руководствоваться действующими нормативными документами, т. е. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

Анализ графиков изменения температуры теплоносителя показал, что при принятом температурном графике центрального качественного регулирования 150/70 среднегодовые значения составили:

- в подающем трубопроводе: 84,3 °С;
- в обратном трубопроводе: 51,03 °С.

Приведенные значения отличаются от принятых в СП 61.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 41-03—2003) «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», однако в силу желания ориентироваться по фактическим показателям были приняты они.

При расчете тепловых потоков принята следующая конструкция теплопровода:

- трубопроводы теплоснабжения — стальные электросварные прямшовные по ГОСТ 20295—85, изготовленные из стали марки 17Г1С по ГОСТ 19281—2014;
- антикоррозионное покрытие в три слоя кремнийорганической эмали КО-811 с минимальной толщиной слоя 0,04 мм по ГОСТ 23122—78, расход трех слоев на 1 м<sup>2</sup> составляет 600 г, способ нанесения — механический;
- теплоизоляционное покрытие: навесная изоляция — прошивной мат с сеткой стальной с одной стороны толщиной до 100 мм;
- покровной слой — стеклопластик рулонный РСТ 410 по ГОСТ 30224—2003.

Расчет тепловых потоков выполнялся по формулам (1—3) СП 61.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 41-03—2003) «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Для цилиндрических тел диаметром менее 2 м выполняется неравенство:

$$\ln B = 2\pi\lambda_{\text{из}} \left[ \frac{K(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{q_L^{\text{н}}} - R_{\text{н}}^L \right], \quad (1)$$

где  $B = \frac{d_{\text{н}}^{\text{ст}} + 2\delta_{\text{из}}}{d_{\text{н}}^{\text{из}}}$ ;  $d_{\text{н}}^{\text{ст}}$  — наружный диаметр трубопровода, по которому перемещается теплоноситель, м;  $d_{\text{н}}^{\text{из}}$  — наружный диаметр теплопровода вместе

с теплоизоляционной конструкцией, м;  $\lambda_{из}$  — коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $K$  — коэффициент дополнительных потерь, учитывающий тепловые потери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор;  $t_b$  — температура теплоносителя, °С;  $t_n$  — температура наружного воздуха, °С;  $q_L^H$  — нормированная линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м;  $R_n^L$  — нормативная плотность теплового потока, Вт/м.

Переменной, входящей в состав уравнения (1), от которой в значительной степени зависит величина тепловых потерь, является толщина теплоизоляционного слоя:

$$\delta_{из} = \frac{d_n^{ct}(B-1)}{2}. \quad (2)$$

Таким образом, в состав уравнения (1) входят две переменные, значение которых зависит друг от друга, а значит, такое уравнение не имеет однозначного решения. Целесообразно будет воспользоваться методом простой итерации.

Расчетная линейная плотность теплового потока определяется согласно выражению (3):

$$q_L^i = \frac{\pi(t_b - t_n)}{\frac{1}{\alpha_n(\alpha_n^{ct} + 2\delta_0 i)} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_n^{ct} + 2\delta_0 i}{d_n^{ct}}}. \quad (3)$$

На каждом шаге вычислений  $i$  производится сравнение  $q_L^i$  с заданным значением нормативного удельного потока  $q_L^H$ . При выполнении условия  $q_L^i - q_L^H \leq 0$  вычисления заканчиваются, а найденная величина  $\delta = \delta_0 i$  является искомой, обеспечивающей заданную величину тепловых потерь.

**Результаты.** Любое рассмотрение пакета технических документов начинается с анализа достаточности его комплектации и соответствия состава разделов нормативным требованиям и техническому заданию (договору, заданию на проектирование). Требования к составу проектной документации жестко регламентированы Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 06.07.2019) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», а к комплектам рабочей документации таких требований не выставляется.

Проектная документация обычно содержит следующие разделы:

- пояснительная записка (ПЗ);
- проект полосы отвода (ППО);
- технологические и конструктивные решения линейного объекта — искусственные сооружения (ТКР);
- проект организации строительства (ПОС);
- мероприятия по охране окружающей среды (ООС);
- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности (ПБ).

Раздел ТКР может включать, а может не включать деление на подразделы:

- тепломеханические решения тепловых сетей (ТС);
  - конструктивные решения (КР);
  - система СОДК (СОДК, только для трубопроводов в ППУ-теплоизоляции);
  - электроснабжение (ЭС).
- К проекту, как правило, прикладываются:
- смета на строительство (СМ);
  - мероприятия гражданской обороны и предупреждения чрезвычайных ситуаций (ГО);
  - спецификация на тепловую сеть (ТС. С);
  - спецификация на временную тепловую сеть (ВТС. С).

Анализ проектной документации по объектам, приведенным выше, показал, что ведомость рабочих чертежей основного комплекта для линейных объектов капитального строительства, в частности участков тепловых сетей, в рамках капитального ремонта, реконструкции, модернизации, технического перевооружения или нового строительства обычно выглядит следующим образом:

- общие данные;
- сводный план теплосети;
- монтажная схема теплосети;
- продольный профиль;
- профиль выпусков;
- сечения трубопроводов;
- тепловые камеры (монтаж оборудования);
- узел ввода в ИТП (монтаж оборудования);
- план временной тепловой сети;
- монтажная схема временной тепловой сети.

Содержание ведомости основных комплектов рабочих чертежей может упрощаться:

- тепловые сети (ТС);
- строительные решения (КЖ);
- защита от коррозии (ЭХЗ).

Ведомость ссылочных и прилагаемых документов для одного из проектов выглядела следующим образом:

- 313.ТС-008.000 «Типовые решения прокладки трубопроводов ОАО „ВНИПИэнергопром” тепловых сетей в изоляции из пенополиуретана Ду 50-600мм».
- РД-3-ВЭП «Руководящий документ (ОАО «ВНИПИэнергопром») по применению сильфонных компенсирующих устройств (СКУ) по ТУ ИЯНШ 300260.033 ТУ и по ТУ ИЯНШ 300260.043 ТУ».
- Типовая серия 3.903 КЛ-13. Выпуск 0-1 «Сборные железобетонные камеры на тепловых сетях».
- Типовая серия 5.903-13 «Изделия и детали трубопроводов для тепловых сетей:
  - выпуск 1-95 «Детали трубопроводов»;
  - выпуск 7-95 «Опоры трубопроводов неподвижные»;
  - альбом А-397-80 «Конструкции тепловых сетей в Санкт-Петербурге».

Работы, которые частично или полностью будут скрыты при последующих операциях (например, ремонт и прочистка дренажных устройств, антикоррозионное покрытие труб, установка и растяжка компенсаторов), необходимо фиксировать актом скрытых работ.

Акт скрытых работ может подписывать только лицо, находящееся в реестре строительства. Сами акты входят в состав исполнительной документации, требования к составу которой, в свою очередь, определяются РД 11-02—2006 «Требования к составу исполнительной документации на объект строительства», но могут дополняться:

- проектной документацией, например в разделе ТС;
- требованиями заказчика, описанными в техническом задании;
- утвержденным приказом по организации реестром исполнительной документации.

Важность качественной подготовки и достоверности исполнительной документации подчеркивается работой [8]. Кроме того, сбор, подготовка и ведение исполнительной документации, подготовка исполнительных схем, работы с сертификатами и планами качества на строительные материалы, а также разработка, корректировка и утверждение графиков производства работ — это основной залог качества проведения строительно-монтажных работ.

Проведение строительно-монтажных работ качественно и в срок предполагает равномерное нанесение теплоизоляционного и антикоррозионного покрытий, закрепление и изоляцию первого от влаги, что позволяет обеспечить эксплуатацию сетей, характеризующихся тепловыми потерями, не превышающими нормативное значение в течение всего срока службы или его большей части [12].

Смещение сроков даже на 7—10 дней приводит к спешке, из-за чего десятая часть протяженности ремонта может быть смонтирована с нарушением технологии, кровный слой может быть нарушен, а теплоизоляционный слой может не прилегать плотно, что приведет к тому, что тепловые потери могут возрасти на 50 %.

Использование ППУ-теплоизоляции позволяет либо снижать тепловые потери при сопоставимой толщине теплоизоляционного слоя, либо уменьшать толщину, тем самым снижая наружный диаметр и опять снижать тепловые потери. Применение наноматериалов способно снизить толщину теплоизоляционного слоя до нескольких миллиметров, однако пока такие решения недоступны и считаются перспективными разработками [5].

Величиной, в значительной степени определяющей тепловые потери, также является температурный график центрального качественного регулирования, в свою очередь, сильно зависящий от принятых расчетных температур на входе и выходе в систему отопления потребителей.

Согласно СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01—2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» для зданий жилого, общественного и административно-бытового назначения, имеющих водяные системы отопления с радиаторами, панелями и конвекторами в качестве отопительных приборов, установлены следующие предельные расчетные температуры теплоносителя: для двухтрубных систем — 95 °С; для одноконтурных — 105 °С.

Принятые нормы приводят к тому, что самый популярный в отечественных СЦТ температурный график центрального качественного регулирования

ния — это 95/70 °С, что затрудняет снижение тепловых потерь и переход на системы теплоснабжения четвертого и пятого поколений [13—15].

С другой стороны, выше приведены предельные (расчетные) температуры, что не запрещает снижать тепловые потери и температуру теплоносителя в обратном трубопроводе, тем самым повышая эффективность термодинамического цикла комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, либо применять меньший слой теплоизоляции и, экономя на капитальных затратах, обеспечивать те же тепловые потери [12].

Документами, устанавливающими конечную стоимость производства любых строительного-монтажных работ, являются акты формы КС-2 и КС-3 и КС-6. Акт формы КС-2 называется «Акт приемки выполненных работ» и состоит из двух частей, содержащих детальную и общую информация об объекте строительства. Последняя содержит: наименование и адреса сторон, место и объект строительства, период выполнения работ, стоимость по договору.

Детальная информация оформляется в виде восьми столбцов:

- 1) номер по порядку;
- 2) номер по позиции в смете;
- 3) наименование работы;
- 4) номер расценки;
- 5) единицы измерения;
- 6) объем выполненных работ (при обязательном формировании итоговых данных);
- 7) цена за единицу;
- 8) стоимость выполненных работ (с формированием итоговых данных).

Типовыми наименованиями работ, например при текущем ремонте, согласно перечню являются:

- кладка отдельных участков кирпичных стен и заделка проемов в кирпичных стенах;
- устройство бетонных фундаментов общего назначения;
- устройство балок, ригелей перекрытия, покрытия и под установку оборудования многоэтажных зданий;
- водоотлив из траншеи электрическими (механическими) насосами;
- очистка камер от мокрого ила и грязи;
- очистка непроходных каналов: от мокрого ила и грязи при снятых трубах.

Основными базами для указания цены при строительстве и ремонте тепловых сетей являются «ФЕР06-01-005-01 Приказ Минстроя РФ от 30.01.14 №31/пр» (ФЕР — федеральные единичные расценки) и «ФССЦ-401-0023 Приказ Минстроя России от 12.11.14 №703/пр» (ФССЦ — федеральный сборник сметных цен).

Форма КС-3 называется «Справка о стоимости выполненных работ и затрат» и состоит из двух аналогичных частей. Детальная информация представлена в виде шести столбцов:

- 1) порядковый номер;
- 2) наименование пускового комплекса, этапа, объекта, вида выполненных работ, оборудования, произведенных затрат;
- 3) код;
- 4) формируется из стоимости выполненных работ и затрат с момента начала проведения работ;

5) составляет стоимость выполненных работ и произведенных затрат в период с начала года;

б) представляет стоимость выполненных работ и произведенных затрат, в том числе за отчетный период.

Важно отметить, что формы КС-2 и КС-3 должны предоставляться вместе, так как каждый документ в отдельности не имеет никакой силы.

Анализ проектов показал, что одним из часто встречаемых упущений является отсутствие возможности опорожнения участка — спуска теплоносителя. Например, отсутствует указание об использовании колодцев и их условное обозначение на поле чертежа, из чего следует, что дренирование участка теплотрассы всего пускового комплекса осуществляется на грунт, что недопустимо.

Спуск теплоносителя является важнейшей эксплуатационной операцией, проводимой перед ликвидацией технологического нарушения и в ходе летней ремонтной компании. Возможность и скорость опорожнения участка не влияет на тепловые потери, однако являются определяющими величинами, влияющими на надежность и эффективность работы тепловых сетей.

Встречаются проектные решения, когда на довольно протяженных участках отсутствуют подвижные и (или) неподвижные опоры, что повышает вероятность возникновения повреждений из-за чрезмерных механических усилий на сварные швы трубопроводов и мест присоединения запорной арматуры.

Практика проектирования, например, показывает, что для тепловых сетей небольшого диаметра неподвижные опоры размещаются в среднем каждые 100 м.

Во всех рассмотренных проектах опоры принимались по типовым сериям, например подвижные — по 5.903-13, в. 8-95, неподвижные — усиленные по 5.903-13, в. 7-95 (см. выше).

Одной из возможных недоработок является недостаточное внимание к антикоррозионному покрытию металлических конструкций. Покрытие как трубопроводов, так и металлических опор и вспомогательных конструкций уже на протяжении десятков лет выполняется описанным выше способом, предполагающим нанесение кремнийорганической эмали КО-811 по ГОСТ 23122—78 в три слоя с минимальной толщиной слоя 0,04 мм. Ни одним из проектов не заявляется использование новых способов, например применение тонкопленочных покрытий [4] или наноматериалов [5].

Снижение тепловых потерь также возможно связать с повышением надежности с точки зрения уменьшения объема утечек сетевой воды и намеренно спускаемого теплоносителя при снижении вероятности возникновения инцидентов [10].

В общих данных может отсутствовать список работ, на которые оформляются акты освидетельствования скрытых работ. Проектировщики зачастую не тратят время на расчет по формулам (1—3), из-за чего на этапе экспертизы и согласований возникает вопрос обоснования той или иной расчетной толщины, например толщины тепловой изоляции на обратном трубопроводе 100 мм.

В отдельных проектах из приведенного выше списка существенно число замечаний, касающихся земляных работ и общей читаемости чертежей, например, отсутствуют:

- геометрические размеры разрабатываемых котлованов под опорные конструкции (ширина, высота, глубина (в т. ч. толщина слоя под подушкой для опоры));

- лист с общим видом и разрезом узла под секущую запорную арматуру и дренажей;

- лист с общим видом и разрезом узла под воздушники и с условным обозначением конструктива площадки обслуживания под воздушники и др.

Некорректный монтаж устройств для сброса воздуха может привести к снижению циркуляционного расхода, застоявлению теплоносителя и его интенсивному остыванию вследствие увеличения тепловых потерь.

Сами тепловые камеры — это хороший резерв экономии с точки зрения проектировщика. Устройство ковера, имеющего один люк или лаз и не предусматривающего возможности спуска внутрь, вместо полноценной тепловой камеры приводит к существенной экономии денежных средств на строительных конструкциях, но требует дополнительного оборудования, например привода, позволяющего осуществлять управление запорной арматурой без спуска. В этом случае установленная запорная арматура, кроме того, должна быть исполнением, отличающимся удлиненным штоком.

С точки зрения настоящего исследования, замена тепловой камеры ковером не приводит к снижению тепловых потерь и нормируется лишь требованиями техники безопасности и надежности. Одно из единичных свойств надежности — это ремонтпригодность оборудования, подразумевающая в том числе возможность оперативного управления запорной арматурой для отключения поврежденного участка.

Последняя по распространенности из выявленных ошибок заключается в том, что в ведомостях объемов работ опускаются отдельные виды операций, например работы, связанные с демонтажем существующих трубопроводов, запорной арматуры, выносом коммуникаций и пр.

В процессе передачи документов между участниками процесса (заказчик, генподрядчик, субподрядчик) также возникают нарушения установленных законами процедур. Например, резолюцию на рабочей документации «в производство работ» перед передачей исполнителю имеет право только юридическое лицо — член саморегулируемой организации (СРО).

Причиной всех этих ошибок является спешка и экономия денежных средств. По мнению авторов, экономия должна достигаться не путем исключения из проектов (спецификаций, технических заданий) каких-либо элементов, а за счет снижения тепловых потерь, которая, в свою очередь, должна обеспечиваться за счет:

- снижения протяженности;
- замены теплоизоляционного материала, сокращения его толщины при условии обеспечения нормативных величин;

- уменьшения величины удельного теплового потока через единицу площади поверхности конструкции теплопровода, состоящей из теплоизоляции и покровного слоя.

Ниже приведен пример расчета по формулам (1—3). Величины теплового потока для подающего и обратного трубопроводов соответственно:

$$q_{н.п}^{ср.г} = (67 + (112 - 67)) \cdot \frac{(84,3 - 1,7) - (50 - 5)}{(100 - 5) - (50 - 5)} = 100,84 \text{ Вт/м};$$

$$q_{н.п}^{ср.г} = (67 + (112 - 67)) \cdot \frac{(51,03 - 1,7) - (50 - 5)}{(100 - 5) - (50 - 5)} = 70,897 \text{ Вт/м}.$$

Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала выразим из уравнения (2), определим для отопительного и межотопительного периодов и, усреднив значения, получим:

$$\lambda_{из.под} = 0,055 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_{из.об} = 0,049 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}.$$

Коэффициент дополнительных тепловых потерь  $K$  через опоры трубопроводов в расчете толщины тепловой изоляции по нормативной плотности теплового потока принимается равным 1.

Тогда, пользуясь методом простой итерации:

$$\ln B = 2 \cdot \pi \cdot 0,055 \cdot \left[ \frac{1 \cdot (84,12 - 1,7)}{100,678} - 0,017 \right] = 0,2757;$$

$$B = e^{0,2757} = 1,317,$$

получим минимальное значение толщины тепловой изоляции подающего трубопровода, обеспечивающей нормативную плотность теплового потока:

$$\delta_{из} = \frac{d_n \cdot (B - 1)}{2} = \frac{0,63 \cdot (1,317 - 1)}{2} = 0,100 \text{ м} = 100 \text{ мм}.$$

Аналогично определена толщина изоляции обратного трубопровода:

$$\delta_{из} = \frac{d_n \cdot (B - 1)}{2} = \frac{0,63 \cdot (1,238 - 1)}{2} = 0,075 \text{ м} = 80 \text{ мм}.$$

Таким образом, толщина минераловатной тепловой изоляции, необходимая для обеспечения нормативных тепловых потерь в соответствии с требованиями СП 61.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 41-03—2003) «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», для трубопроводов тепловых сетей диаметром 600 мм на примере климатических условий г. Омска составляет:

- для подающего трубопровода — 100 мм;
- для обратного трубопровода — 80 мм.

**Заключение.** Таким образом, количество ошибок и упущений в проектной документации значительно, при отсутствии внимания к ним на этапе исправления замечаний и проведения строительно-монтажных работ они способны снизить надежность и эффективность работы объектов теплоснабжения. С точки зрения практики эксплуатации, выявившей повышенную повреждаемость трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии, на этапе проектирования и выполнения строительно-монтажных работ особое внимание предлагается уделять выполнению антикоррозионной защиты наружной по-

верхности металлических трубопроводов. В связи с этим, во-первых, персоналу и руководителям ремонтно-эксплуатационных единиц при определении объемов капитального и текущего ремонта трубопроводов тепловых сетей и составлении ведомости объемов работ следует учитывать всю площадь для покрытия антикоррозионной защитой смонтированного трубопровода, задвижек, металлоконструкций, в т. ч. подъемов и спусков, площадок обслуживания и люков.

Во-вторых, в проектной документации и при разработке заключений на нее требуется акцентировать внимание на дренажных системах, при необходимости уточнять и проверять по месту и чертежу наличие фактических отметок точек отвода спускаемого теплоносителя и дренажных вод (в т. ч. колодцев ливневых канализаций). При отсутствии своевременно разработанной и проверенной проектной документации на дренажную систему следует исключить вывод в капитальный ремонт участка тепловой сети.

Расчет показал, что нормативные плотности теплового потока возможно обеспечить при толщинах 100 мм на подающем и 80 мм на обратном трубопроводах и при этом добиться экономии 20 мм теплоизоляционного материала на единицу длины теплопровода. В целом технические решения, принятые в рассмотренных проектах, несмотря на замечания, по большей части соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и в основном обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта при соблюдении предусмотренных рабочими проектами мероприятий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Junussova L. R., Chicherin S. V.* Improving a water treatment and a heating performance of the water-to-water heat pump: misallocation and available solutions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Pp. 012092. DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012092.
2. *Gumpert B., Wieland C., Spliethoff H.* Thermo-hydraulic simulation of district heating systems // Geothermics. Pp. 2019244—253. DOI: 10.1016/j.geothermics.2019.07.001.
3. Снижение тепловых потерь энергоснабжающей организации модернизацией систем горячего водоснабжения / Ю. В. Ваньков, И. Н. Запольская, Е. В. Измайлова, А. Р. Загретдинов и др. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 4(40). С. 13—24.
4. *Закирова И. А., Чичирова Н. Д.* Исследование тепловых процессов в изоляции трубопроводов тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Теплоэнергетика. 2019. № 10. С. 57—65.
5. Применение наноматериалов в теплоизоляции трубопроводов / И. К. Киямов, Р. И. Вахитова, Д. А. Сарачева, Д. В. Мазанкина и др. // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Т. 11. № 2. С. 194—202.
6. *Половников В. Ю.* Тепловые потери тепловых сетей в аварийных режимах эксплуатации // Энергетик. 2018. № 3. С. 32—34.
7. *Wang, H., Meng, H., Zhu, T.* New model for onsite heat loss state estimation of general district heating network with hourly measurements // Energy Conversion and Management. 2018. Pp. 71—85. Doi: 10.1016/j.enconman.2017.11.062.
8. *Зайнашева Ю. В., Крылова М. И., Нарезная Т. К.* Роль исполнительной документации при проведении строительно-технической экспертизы земляных работ // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 8. С. 84—88
9. *Тульская С. Г., Коротких Е. П., Максименко А. М.* Инженер производственно-технического отдела в строительстве // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2019. № 1(14). С. 40—48.

10. Чичерин С. В. Исследование причин необеспечения гидравлических режимов и возникновения переходных процессов в системах централизованного теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 15(67). С. 125—134.
11. Zhou S., O'Neill Z., O'Neill C. A review of leakage detection methods for district heating networks // Applied Thermal Engineering. 2018. Pp. 567—574. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.010.
12. Chicherin S., Junussova L., Junussov T. Minimizing the supply temperature at the district heating plant — dynamic optimization // E3S Web of Conferences. DOI: 10.1051/e3sconf/201911802004.
13. Чичерин С. В. Анализ технологий отопления, вентиляции и кондиционирования для перехода на низкотемпературное теплоснабжение // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 3. С. 1—20. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.8.
14. Dolna O., Mikielwicz J. The ground impact on the ultra-low- and low-temperature district heating operation // Renewable Energy, 2020. Pp. 1232—1241. DOI: 10.1016/j.renene.2019.07.048.
15. Østergaard D. S., Svendsen S. Costs and benefits of preparing existing Danish buildings for low-temperature district heating // Energy. 2019. Pp. 718—727. DOI: 10.1016/j.energy.2019.03.186.

© Чичерин С. В., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Чичерин С. В. Резервы снижения тепловых потерь сетей и повышения надежности теплоснабжения: анализ проектной и исполнительной документации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 204—215.

Об авторах:

Чичерин С. В. — Омский государственный университет путей сообщения. Российская Федерация, 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35; man\_csv@hotmail.com

**S. V. Chicherin**

**Omsk State Transport University**

## **MINIMIZING HEAT LOSSES AND ENHANCING RELIABILITY OF A DISTRICT HEATING NETWORK — ANALYZING PROJECT RECORDS AND AS-BUILTS**

Due to increasing of construction, and related amount of designing records and as-builts, the aim of developing options to reduce heat losses has become relevant. In order to summarize the experience established in the examination of documentation the aim of this study is to assess the effect of the decisions made at the design and construction stages on the main operational characteristics, namely heat losses and reliability.

The case study was the project materials for the construction of new district heating (DH) networks for the facilities located in Yekaterinburg, Kazan, St. Petersburg, etc. Calculation of heat flows was carried out according to the equations in line with the Russian code of practice.

**Key words:** pipeline, thickness, construction, insulation, reliability, coating, hot water.

*For citation:*

Chicherin S. V. [Minimizing heat losses and enhancing reliability of a district heating network — analyzing project records and as-builts]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 204—215.

*About authors:*

**S. V. Chicherin** — Omsk State Transport University (OSTU). 35, Marks Ave., Omsk, 644046, Russian Federation; man\_csv@hotmail.com

УДК 624.622. 24

**А. М. Буров, М. В. Иванов, А. Р. Базбетов, А. А. Гайдуков**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ БУРОВЫХ НАСОСОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БУРЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Приведен анализ режимов загрузки буровых насосов одностороннего и двойного действия с равной мощностью. Выполнен расчет силовых параметров, и определены амплитудные напряжения в начале и конце бурения, а также выполнен сравнительный расчет долговечности штока.

**Ключевые слова:** буровой насос, растягивающие, сжимающие усилия, амплитудное напряжение, ресурс работы, долговечность штока.

Эффективность бурения нефтегазовых скважин зависит от комплекса технологических факторов и конструктивных особенностей технологического оборудования, повышающих его работоспособность и увеличивающих межремонтный срок. Буровые насосы являются основным звеном в системе циркуляции бурового раствора, определяют в целом производительность и работоспособность буровой установки. В связи с этим повышение эффективности работы буровых насосов является актуальной задачей и зависит от повышения надежности и долговечности его отдельных узлов и деталей [1—8].

**Цель работы** — анализ режимов загрузки и сравнительный расчет долговечности штока буровых насосов одностороннего и двойного действия, позволяющие выбрать рациональную конструкцию насоса, обеспечивающую более эффективные показатели бурения.

В настоящий момент для нагнетания бурового раствора в скважину и обеспечения его циркуляции применяются насосы двух видов: простого и двойного действия. Наибольшее применение получили насосы двухпоршневые двойного действия. Широкое применение двухпоршневых насосов объясняется следующими причинами: 1) меньшими производственными затратами изготовления сложных деталей клапанной и кривошипно-шатунной группы; 2) относительно небольшим коэффициентом неравномерности подачи —  $m \approx 1,1$  [9]. Однако переход на глубокое и горизонтальное бурение потребовало применение трех цилиндрических насосов одностороннего действия. Эти насосы по сравнению с двухцилиндровыми имеют ряд преимуществ:

- обеспечена большая равномерность подачи;
- уменьшена пульсация раствора в результате использования шаровых диафрагменных компенсаторов, что обеспечивает высокий показатель работы;
- уменьшена на 25...35 % масса насоса, и улучшена монтажеспособность;
- улучшены условия ремонтных работ, и сокращено ремонтное время обслуживания насосов в бурении;
- увеличен срок службы при высоких давлениях (30...40 МПа) и подаче.

Сравнительная техническая характеристика насосов одностороннего и двойного действия приблизительно равной мощности приведены в табл. 1 [10—12].

Следует отметить, что принципиальным отличием режима загрузки штока поршня трехпоршневого насоса одностороннего действия является воздействие на него только сжимающих нагрузок, которые, как известно, не обуславливают раскрытие и развитие микротрещин в теле штока и не влияют таким образом на накопление усталостных факторов и на его разрушение. В отличие от вышесказанного в насосах двойного действия шток перемещается под действием растягивающих усилий в одну сторону и сжимающих в другую. Усилия могут быть определены из выражений по методике [13].

Т а б л и ц а 1

Техническая характеристика насосов

Параметры	У8-7МА2	УНБТ-800
Мощность, кВт:		
приводная;	825	800
гидравлическая	710	720
Число цилиндров	2	3
Число двойных ходов поршня в 1 мин.	66	135
Длина хода поршня, мм	400	250
Максимальная подача, л/с / давление, МПа	50,9/14,2	41,4/17
Максимальное давление, МПа / подача, л/с	32/22,7	32/22,4
Диаметр, мм:		
втулка цилиндра;	200	200
штока;	80	70
проходное отверстие;	—	—
седла клапана	125	—
Нагрузка на шток, кН	446	430
Масса, т	37,3	22,4
Масса на единицу гидравлической мощности, кг/кВт	53	31

$$P_{\text{раст}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{п}}^2 - d_{\text{шт}}^2) P_{\text{н}} + \pi D \cdot l_1 \mu_1 P_{\text{н}} + \pi d_{\text{ш}} \cdot l_2 \mu_2 P_{\text{н}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{сж}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{п}}^2 \cdot P_{\text{н}} + \pi D \cdot l_1 \mu_1 P_{\text{н}}, \quad (2)$$

где  $D_{\text{п}}$ ,  $d_{\text{шт}}$  — диаметр поршня и штока соответственно, м;  $P_{\text{н}}$  — давление насоса, МПа;  $l_1$  — ширина уплотнительной части резиновой манжеты поршня, м;  $\mu_1$  — коэффициент трения между трущейся поверхностью поршня и цилиндрической втулки,  $\mu_1 = 0,1$ ;  $l_2$  — длина уплотнительной части манжет сальника штока;  $\mu_2$  — коэффициент трения в паре шток — уплотнение;  $\mu_2 = 0,2$ . В расчетах согласно [14, 15] можно принять  $l_1 = 0,012$  м,  $l_2 = 0,10 \dots 0,12$  м.

Размах усилия, действующего в штоке за один двойной ход поршня, равен для насоса двойного действия  $R = P_{\text{раст}} + P_{\text{сжат}}$ , а амплитуда усилия —

$$A = \frac{R}{2} = \frac{P_{\text{раст}} + P_{\text{сжат}}}{2}. \text{ Амплитудное напряжение, действующее в наиболее}$$

слабом сечении штока, равно:

$$\sigma_{\text{а}} = \frac{A}{f^1} = \frac{P_{\text{раст}} + P_{\text{сжат}}}{2 \frac{\pi}{4} (d^1)^2}, \quad (3)$$

где  $f'$  — площадь поперечного сечения штока в наиболее ослабленном месте;  
 $d'$  — диаметр штока в опасном сечении.

Соответственно, для насосов одностороннего действия размах усилия:

$$R = P_{\text{сжат}}; \text{ амплитуда усилия } — A = \frac{R}{2} = \frac{P_{\text{сжат}}}{2}; \text{ амплитудное напряжение,}$$

действующее в наиболее слабом сечении штока, равно:

$$\sigma_a = \frac{A}{f'} = \frac{P_{\text{сжат}}}{2 \frac{\pi}{4} (d')^2}. \quad (4)$$

Исходя из данных табл. 1 и формул (1—4), составлена сравнительная циклическая диаграмма напряжений в штоках буровых насосов одностороннего и двойного действия (рис. 1)

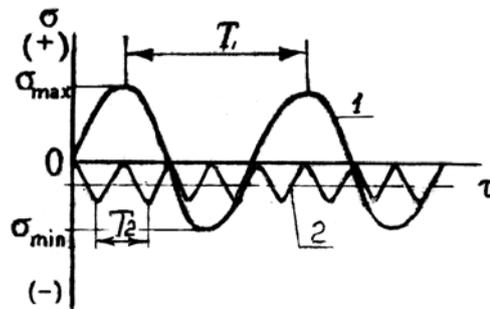


Рис. 1. Циклическое изменение напряжения в штоке буровых насосов: 1 — насос двойного действия; 2 — насос одностороннего действия

Необходимо отметить, что загруженность штока амплитудными напряжениями в начале и конце интервала бурения непостоянна и согласно [3] может быть выражена графически (рис. 2), а также зависит от числа двойных ходов насоса (см. табл. 1).

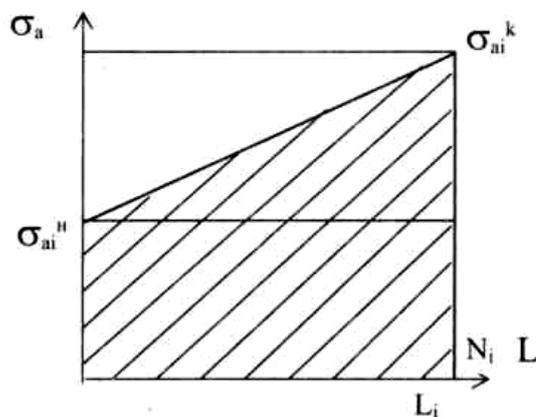


Рис. 2. Загруженность штока амплитудными напряжениями при бурении  $i$ -го интервала:  $\sigma_a$  — амплитудное напряжение;  $L$  — глубина скважины

Суммарное число двойных ходов насоса при бурении  $i$ -го интервала определяется:

$$N_i = \frac{L_i n_{\text{дв.х.}i} 60}{V_{\text{мех.}i}}, \quad (5)$$

где  $L_i$  — длина  $i$ -го интервала скважины, м;  $V_{\text{мех.}i}$  — механическая скорость бурения в  $i$ -м интервале, м/час;  $n_{\text{дв.х.}i}$  — число двойных ходов насоса в мин. при бурении  $i$ -го интервала (см. табл. 1).

Считая, что амплитудные напряжения изменяются в интервале от начального до конечного линейно (см. рис. 2) с каждым двойным ходом насоса, и обозначив каждый двойной ход через

$$j = 1 \dots, N_i, \quad (6)$$

выразим амплитудное напряжение в штоке для каждого  $j$ -го хода штока в виде:

$$\sigma_{ai,j} = \sigma_{ai}^H + \frac{\sigma_{ai}^K - \sigma_{ai}^H}{N_i} (j - 1). \quad (7)$$

В таблице 2 приведены силовые режимы загруженности и амплитудные напряжения, полученные расчетом, с использованием данных табл. 1, рис. 1 и формул (1—7) для насосов одностороннего и двойного действия приблизительно одинаковой мощности при прочих равных условиях за один интервал ( $i = 1$ ) бурения при условной длине интервала проходки в 1000 метров. При выполнении расчетов начальные силовые параметры определяли исходя из оптимального давления насоса, а конечные — исходя из максимального давления, которые для насоса двухстороннего и одностороннего действия согласно табл. 1 соответственно равны:

$$P_{\text{раст}}^H = 14,2(\text{МПа}) \text{ и } P_{\text{сж}}^H = 17 (\text{МПа});$$

$$P_{\text{раст}}^K = 32(\text{МПа}) \text{ и } P_{\text{сж}}^K = 32 (\text{МПа}).$$

Т а б л и ц а 2

*Режимы загруженности буровых насосов*

Параметры бурения и загрузки буровых насосов	Насос двухстороннего действия У8МА2	Насос одностороннего действия УНБТ-2
$L_i$ — длина интервала бурения, м	1000	1000
$V_{\text{мех.}i}$ — мех. скорость бурения, м/час	10	10
$P_{\text{раст}}^H$ — начальное усилие растяжения в штоке, Н	$0,71 \cdot 10^6$	0
$P_{\text{сж}}^H$ — начальное усилие сжатия в штоке, Н	$0,17 \cdot 10^6$	$0,21 \cdot 10^6$
$P_{\text{раст}}^K$ — конечное усилие растяжения в штоке, Н	$1,6 \cdot 10^6$	0
$P_{\text{сж}}^K$ — конечное усилие сжатия в штоке, (Н)	$0,392 \cdot 10^6$	$0,392 \cdot 10^6$

Окончание табл. 2

Параметры бурения и загрузки буровых насосов	Насос двустороннего действия У8МА2	Насос одностороннего действия УНБТ-2
$\sigma_{ai}^H$ — амплитуда напряжений в начале интервала бурения, Па	$8,8 \cdot 10^6$	$2,73 \cdot 10^6$
$\sigma_{ai}^K$ — амплитуда напряжений в начале интервала бурения, Па	$19,92 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^6$
$N_i$ — суммарное число двойных ходов, дв. ход	396 000	810 000
$\sigma_{aij}$ — амплитудное напряжение, Па ( $J$ изменяется от $J = N = 1$ до $N_i$ )	$19,92 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^6$

Анализ режимов загрузки насосов одностороннего и двойного действия дал возможность выполнить сравнительный расчет долговечности и осуществить выбор конструкции насосов для нагнетания бурового раствора в скважине.

Шток рассчитывали на долговечность как стержень, нагруженный продольно циклически повторяющейся нагрузкой (см. рис. 1). Расчетная формула имеет вид [3]:

$$Z_c = \frac{a_p \sigma_{-1D}^m N_0}{\sum \sigma_{ai}^m N_i}, \quad (8)$$

где  $Z_c$  — количество скважин, пробуренных до разрушения штока (долговечность штока, выраженная количеством пробуренных скважин);  $a_p$  — расчетный коэффициент повреждений.

$$a_p = \frac{\sum \sigma_{ai} N_i}{\sigma_{amax} N_\sigma}, \quad (9)$$

где выражение в числителе есть заштрихованная площадь — см. рис. 2, а в знаменателе — площадь прямоугольника, ограниченного координатами  $\sigma_{ai}^k = \sigma_{amax}$  и  $N_i = N_\sigma$  (рис. 2);  $m = 9$  — показатель степени в формуле кривой усталости штока;  $N_0 = 10^7$  — базовое число циклов нагружений;  $(\sigma - 1D)$  — предел выносливости натурной детали-штока;

$$\sigma - 1D = \frac{\sigma_{-1}}{K}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{-1}$  — предел выносливости материала штока;  $K$  — коэффициент снижения предела выносливости.

Условно примем, что штоки буровых насосов изготавливают из стали 40Х с пределом прочности  $\sigma_b = 1000$  МПа, а предел выносливости равен:

$$\sigma_{-1} = 0,35\sigma_b. \quad (11)$$

Коэффициент снижения предела выносливости находится в пределах  $K = 2...2,5$  [3, 4].

Результаты расчета долговечности насосов приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Результаты расчета долговечности насосов

Расчетные параметры	Насос двустороннего действия У8МА2	Насос одностороннего действия УНБТ-2
$N_0$ — базовое число циклов	$10^7$	$10^7$
$a_p$ — расчетный коэффициент повреждений	0,72	0,87
$\sigma - 1D$ — предел выносливости, Па	$155,5 \cdot 10^6$	$155,5 \cdot 10^6$
$\sum \sigma_{\sigma_1}^m \cdot N_1$ — заштрихованная площадь по рис. 2	$9,92 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^6$
$Z_c$ — долговечность штока (количество скважин пробуренных до разрушения), шт.	141,9	326,4

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы:

1) долговечность штоков трехцилиндровых буровых насосов одностороннего действия более чем в два раза выше долговечности штоков буровых насосов двойного действия;

2) использование буровых насосов одностороннего действия вместо буровых насосов двойного действия позволяет большее количество времени сохранять работоспособность и увеличить межремонтный период.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баграмов Р. А. Буровые машины и комплексы : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов». М. : Недра, 1988. 501 с.
2. Долматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундамента: учебник для вузов. М. : Стройиздат, 1981. 319 с.
3. Ефимченко С. И. Расчеты ресурсов несущих элементов буровых установок : учеб. пособие. М. : РГУ нефти и газа им. Гупкина, 2012. 328 с.
4. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для студентов вузов. М. : Высшая школа, 2005. 383 с.
5. Ильский А. Л., Миронов Ю. В., Чернобыльский А. Г. Расчет и конструирование бурового оборудования : учеб. пособие. М. : Недра, 1990. 452 с.
6. Ковалев Н. А. Прикладная механика : учебник для вузов. М. : Высшая школа, 1982. 400 с.
7. Лобкин А. Н. Обслуживание и ремонт буровых установок : учеб. пособие для учащихся проф. образования и рабочих на производстве. М. : Недра, 1985. 320 с.
8. Проектирование и строительство морских нефтегазовых сооружений: учебник / В. А. Перфилов, В. В. Ярошик, А. М. Буров и др. В 2 частях. Ч. 2. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 303 с.
9. Перфилов В. А., Берлизов В. Д. Анализ сил трения на бурильной колонне, возникающих в процессе строительства скважины // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. № 52(71). С. 45—51.

10. Сердобинцев Ю. П., Бурлаченко О. В., Схиртладзе А. Г. Повышение качества функционирования технологического оборудования: монография. Старый Оскол : ТНТ, 2010. 412 с.
11. Сулов А. Г. Технология машиностроения : учебник. М. : КНОРУС, 2013. 336 с.
12. Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Ivanov M. V. Protection system of hydraulic drive of road construction machinery // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). 2017. Vol. 129. 6 p.
13. Myshkin N., Goryacheva I. Tribology: Trends in the half-century development // Friction and Wear. 2016. Vol. 37. Pp. 513—516.
14. Mellor B. G. Surface Coatings for Protection Against Wear. Woodhead Publishing. 2006. 448 p.
15. Findik F. Investigation of explosive welding parameters and their effects on microhardness and shear strength. 2003. Pp. 659—664.

© Буров А. М., Иванов М. В., Базбетов А. Р., Гайдуков А. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Влияние конструкции буровых насосов на эффективность бурения нефтегазовых скважин / А. М. Буров, М. В. Иванов, А. Р. Базбетов, А. А. Гайдуков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 216—223.

Об авторах:

**Буров Анатолий Михайлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [20burov15@mail.ru](mailto:20burov15@mail.ru)

**Иванов Максим Витальевич** — аспирант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [clevermax18@mail.ru](mailto:clevermax18@mail.ru)

**Базбетов Артем Русланович** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [ad\\_1\\_09@mail.ru](mailto:ad_1_09@mail.ru)

**Гайдуков Алексей Алексеевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [aleksei.gaidukov@mail.ru](mailto:aleksei.gaidukov@mail.ru)

**Anatoliy M. Burov, Maksim V. Ivanov, Artem R. Bazbetov, Aleksei A. Gaidukov**

**Volgograd State Technical University**

## **INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION OF THE WORK ON THE EFFECTIVENESS OF THE NEW NOSIS**

The work analyzed the loading modes of drill pumps one-way and double action with equal power, calculated power parameters and determined amplitude voltages at the beginning and end of drilling, as well as made a comparative calculation the stock's longevity.

**Key words:** drill pump, stretching, squeezing forces, amplitude voltage, resource work, durability of stock.

*For citation:*

Burov A. M., Ivanov M. V., Bazbetov A. R., Gaidukov A. A. [Influence of the construction of the work on the effectiveness of the new nosis]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 216—223.

*About authors:*

**Anatoliy M. Burov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Sea Oil and Gas Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [20burov15@mail.ru](mailto:20burov15@mail.ru)

**Maksim V. Ivanov** — Postgraduate student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [clevermax18@mail.ru](mailto:clevermax18@mail.ru)

**Artem R. Bazbetov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; [ad\\_1\\_09@mail.ru](mailto:ad_1_09@mail.ru)

**Aleksei A. Gaidukov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; [aleksei.gaidukov@mail.ru](mailto:aleksei.gaidukov@mail.ru)

УДК 621.651:69.002.5

**В. А. Наумов**

*Калининградский государственный технический университет*

## **ВЗАИМНОЕ СООТВЕТСТВИЕ НОМОГРАММ, ДИАГРАММ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРШНЕВЫХ БЕТОНОНАСОСОВ**

В статье показано, что представляемые производителями поршневых бетононасосов диаграммы производительности состоят из двух участков. На основном участке диаграммы полезная мощность остается неизменной. Горизонтальный участок обусловлен срабатыванием предохранительного клапана. Номограммы получены из диаграмм производительности при определенных реологических характеристиках перекачиваемой смеси. В технической документации производителей современных бетононасосов отсутствуют рабочие характеристики. Предложенный метод позволяет получить примерный вид рабочих характеристик поршневого насоса по данным технического паспорта и безразмерным аналогам.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** поршневые бетононасосы, подача, давление на выходе, диаграммы производительности, номограммы, гидравлические потери в бетоноводе, рабочие характеристики, безразмерная форма.

Несомненно, применение бетононасосов относится к перспективным и востребованным строительным технологиям. При возведении многоэтажных или монолитных сооружений использование подобной техники ускоряет процесс подачи бетонных смесей и повышает качество работ [1, 2]. Благодаря своим преимуществам поршневые бетононасосы постепенно вытесняют строительные машины других конструкций.

Современный рынок предлагает большое количество бетононасосов разных производителей с широким спектром характеристик<sup>1</sup>. Наибольшую популярность у российских строителей, занятых монолитным домостроением и промышленным строительством, завоевали поршневые бетононасосы с двумя рабочими цилиндрами и гидравлическим приводом, обеспечивающим плавную работу с надежным регулированием производительности.

В техническом паспорте продукции указывается максимальная производительность и максимальное давление  $P$  (МПа) на выходе бетононасоса. Известно, что максимальные значения  $Q$  и  $P$  не могут быть достигнуты одновременно. Например, увеличение дальности подачи приводит к снижению производительности. Часто в технической документации приводятся значения максимальной дальности и высоты подачи, не уточняя, для каких параметров бетонных смесей указаны такие показатели.

<sup>1</sup> Schwing Stationary Trailer Concrete Pumps. URL: <http://www.schwing-stetter.co.uk/Pages/Equipment/StaticPumps.aspx>.

Italian Company CIFA. Portable Pumps. URL: <http://www.cifa.com/portable-pumps>.

Putzmeister Stationary Concrete Pumps. URL: <http://putzmeister.com/enu/index.htm>.

Junjin Heavy Industry Co (South Korea). Stationary concrete pumps. URL: <http://junjin.ir/En/>

Liebherr-Hausgeräte GmbH. Stationary concrete pumps. URL:

<https://www.liebherr.com/en/int/products/construction-machines/concrete-technology/concrete-pumps/concrete-pumps.html>.

Betonstar. Stationary Pumps. URL: <http://www.betonstar.com/sabit-beton-pompalari.aspx>.

Для подбора и эффективного использования бетононасосов важно иметь надежный инженерный метод их расчета. Ранее был разработан метод гидравлического расчета насосных установок, включающий стационарные бетононасосы и бетоноводы [3—5], предложены четыре основных этапа выбора бетононасоса:

1. Построение зависимости давления, создаваемого бетононасосом, от его подачи  $P = f(Q)$ .
2. Построение зависимости гидравлических потерь в бетоноводе от расхода смеси  $\Delta P = \varphi(Q)$ .
3. Определение характеристик бетонной смеси.
4. Определение параметров работы насосной установки путем решения уравнения  $\varphi(Q) = f(Q)$ .

В [3] найденные таким образом параметры называются рабочей точкой насосной установки, что не совсем точно. В действительности это параметры работы насоса в номинальном режиме.

Моделировались зависимости подачи  $Q$  от давления  $P$ , оказываемого на смесь плунжерным насосом, по диаграммам производительности, представляемым производителями:  $P = f(Q)$ . Чтобы у потребителей была возможность подобрать бетононасос с нужными характеристиками, многие производители помещают в открытом доступе диаграммы производительности, связывающие давление нагнетания и подачу. Примеры таких диаграмм представлены на рис. 1.

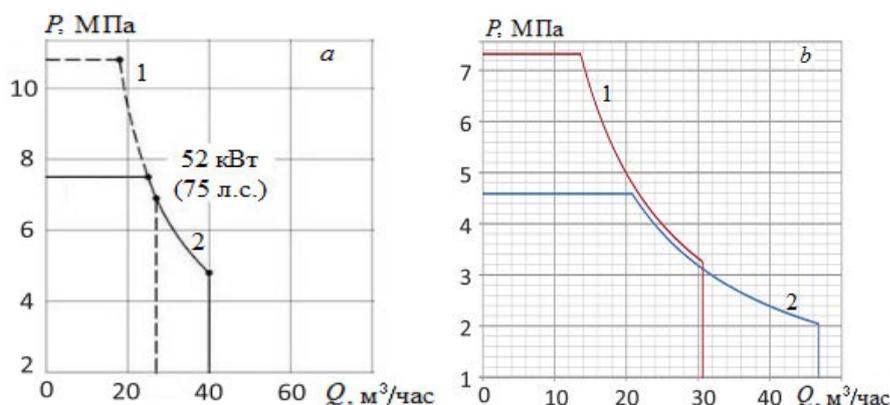


Рис. 1. Диаграммы производительности поршневых бетононасосов: 1 — режим высокого давления (piston side); 2 — режим низкого давления (rod side); а — JUNJIN JSP.40HP-D; б — Italian Company CIFA 307-D

В [3—5] был проведен анализ диаграмм производительности, приведенных производителями бетононасосов<sup>2</sup>. Указанные диаграммы могут быть разбиты на участки: на первом участке функция  $f(Q)$  представляет собой отрезок горизонтальной прямой, на втором — аппроксимируется гиперболой:

$$P = \begin{cases} P_M & \text{при } Q < Q_1 \\ A/Q & \text{при } Q_1 \leq Q \leq Q_2 \end{cases}, \quad (1)$$

<sup>2</sup> Там же.

где  $P_M$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $A$  — постоянные величины для данного насоса.

Функции  $f(Q)$ , полученные для бетононасосов разных производителей и моделей, различаются только значениями постоянных в формуле (1). Величина  $P_M$  на горизонтальном участке определяется срабатыванием предохранительного клапана. Величина  $A$  равна полезной мощности, которая остается постоянной на всем основном участке диаграммы. На рисунке 1,  $a$  ее значение приведено  $A = 52$  кВт.

Для расчета гидравлических потерь в бетоноводе использовалась эмпирическая зависимость [4]:

$$P = \Delta P + \gamma g H, \quad \Delta P = 4L(\tau_0 + bV)/d, \quad (2)$$

где  $\Delta P$  — потери давления на транспортирование смеси по бетоноводу, Па;  $L$  — приведенная (расчетная) длина трубопровода, м;  $d$  — внутренний диаметр бетоновода, м;  $\gamma$  — объемная масса бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — средняя (по расходу) скорость движения смеси, м/с;  $\tau_0$  — предельное напряжение сдвига бетонной смеси, Па;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  — высота подачи бетонной смеси, м;  $b$  — коэффициент скорости, Па · с/м.

В [3, 4] на основе экспериментальных данных о реологических характеристиках была получена регрессионная модель зависимости предельного напряжения сдвига  $\tau_0$  и коэффициента скорости  $b$  от осадки конуса. Ограниченность такой модели заключается в том, что расчеты можно проводить для ограниченного ряда исследованных бетонных смесей.

На рисунке 2 приведены результаты расчета гидравлических потерь в бетоноводе насоса Putzmeister, использованного на строительстве небоскреба «Бурдж-Халифа» [1]. Заметим, что на рис. 2,  $b$  линия 4 пересекает диаграмму производительности 5 вне основного участка, что приводит к срабатыванию предохранительного клапана и падению КПД установки.

Точки пересечения на рис. 2 позволяют найти давление и подачу в номинальном режиме работы бетононасоса. На основном участке диаграммы полезная (гидравлическая) мощность остается неизменной  $N_{\Pi} = Q \cdot P = 326$  кВт. Производитель приводит затрачиваемую мощность бетононасоса  $N = 470$  кВт [1]. Следовательно, КПД в номинальном режиме будет равен 69 %.

Некоторые производители строительных машин<sup>3</sup> для ориентировочных расчетов при определении технических возможностей бетононасосов приводят номограмму, показывающую зависимость между давлением в бетоноводе, его диаметром  $d$ , дальностью подачи  $L$ , производительностью насоса и подвижностью бетонной смеси (осадкой конуса, ОК). Пример номограммы производительности показан на рис. 3; на номограмме стрелками показано, как определить необходимое давление при заданной подаче  $Q = 35$  м<sup>3</sup>/час,  $d = 100$  мм, ОК = 12 см,  $L = 150$  м. В результате получим для горизонтального бетоновода  $P = 3,2$  МПа.

<sup>3</sup> Italian Company CIFA. Portable Pumps. URL: <http://www.cifa.com/portable-pumps>.  
Liebherr-Hausgeräte GmbH. Stationary concrete pumps. URL: <https://www.liebherr.com/en/int/products/construction-machines/concrete-technology/concrete-pumps/concrete-pumps.html>.

Betonstar. Stationary Pumps. URL: <http://www.betonstar.com/sabit-beton-pompalari.aspx>.

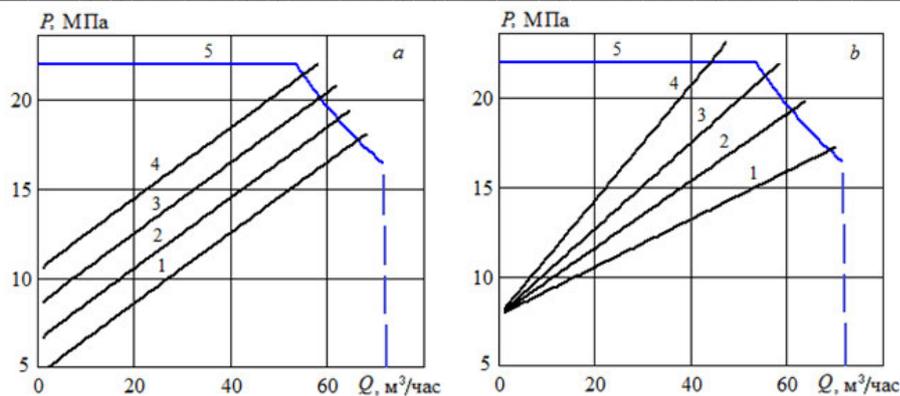


Рис. 2. Определение номинальных параметров бетононасоса Putzmeister (5 — диаграмма производительности бетононасоса BSA 14000 SHP-D<sup>4</sup>): а — при  $H = 400$  м;  $\eta = 73,6$  Па · с и плотности бетонной смеси: 1 —  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; 2 —  $\rho = 1500$  кг/м<sup>3</sup>; 3 —  $\rho = 2000$  кг/м<sup>3</sup>; 4 —  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>; б — при  $H = 400$  м;  $\rho = 2000$  кг/м<sup>3</sup> и пластической вязкости бетонной смеси: 1 —  $\eta = 50$  Па · с; 2 —  $\eta = 70$  Па · с; 3 —  $\eta = 90$  Па · с; 4 —  $\eta = 120$  Па · с

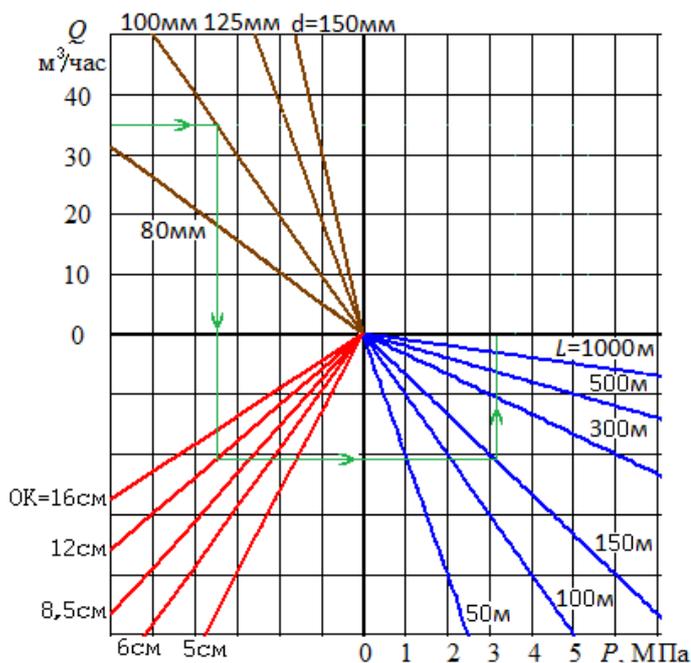


Рис. 3. Номограмма производительности бетононасосов CIFA<sup>5</sup>

В технических документах производителей<sup>6</sup> [3] ничего не сказано о реологических параметрах перекачиваемых смесей, для которых получены номограммы. Пользователь может подумать, что они пригодны для любой

<sup>4</sup> Italian Company CIFA. Portable Pumps . URL: <http://www.cifa.com/portable-pumps>.

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> Liebherr-Hausgeräte GmbH. Stationary concrete pumps. URL: <https://www.liebherr.com/en/int/products/construction-machines/concrete-technology/concrete-pumps/concrete-pumps.html>.

бетонной смеси. Чтобы это проверить, в [6] были взяты данные с большого числа точек номограммы и подставлены в формулу (2). Полученные таким образом уравнения были решены относительно величин  $\tau_0$  и  $b$ . Было доказано, что при построении номограммы использовались характеристики бетонной смеси с очень малым предельным напряжением сдвига и зависимостью определенной  $b(OK)$ . При использовании таких номограмм погрешность для отдельных бетонных смесей может превысить 100 %.

Номограммы, как и диаграммы производительности, позволяют найти параметры работы насоса лишь в номинальном режиме, к тому же — только для бетонной смеси, характеристики которой неявно заданы производителем.

Как известно, фактические параметры работы насосной установки могут заметно отличаться от номинальных. Чтобы их найти, необходимы рабочие характеристики бетононасоса, которые давно и успешно используются для определения рабочей точки центробежной насосной установки. Проблема в том, что у центробежных насосов, как правило, рабочие характеристики содержатся в технических документах. В документации производителей современных бетононасосов таковые отсутствуют.

Для оценки рабочих характеристик поршневых бетононасосов применим метод, предложенный в [7, 8]. Воспользуемся приведенными в [9] зависимостями от давления при фиксированной частоте  $n$ : подачи  $Q = f_1(P)$ , затраченной мощности  $N = f_2(P)$ , КПД  $\eta = f_3(P)$ . Зависимости  $f_1(P)$ ,  $f_2(P)$  практически прямолинейны (рис. 4), могут быть рассчитаны по формулам:

$$Q(P) = Q_T - \alpha P; \quad (3)$$

$$N(P) = N_0 + \beta P, \quad (4)$$

где  $Q_T$  — теоретическая (идеальная) подача;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $N_0$  — эмпирические константы.

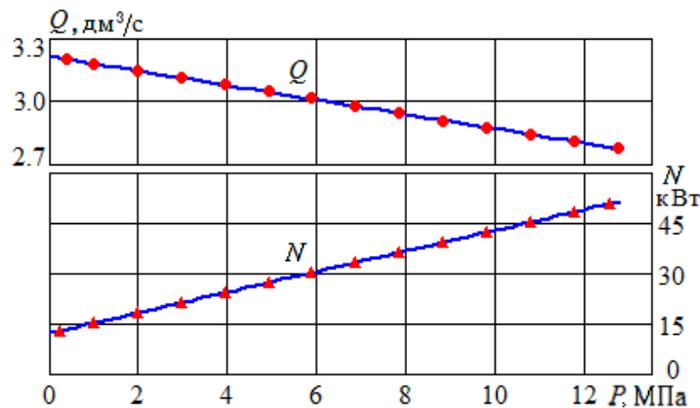


Рис. 4. Зависимость подачи и затраченной мощности от давления на выходе поршневого насоса 10/40 при  $n = 260 \text{ мин}^{-1}$ . Точки — опытные данные [9], линии — результаты расчета по формулам (3), (4)

Эмпирические константы были найдены для каждой модели. Для примера на рис. 4 они составили:  $Q_T = 3,214 \text{ дм}^3/\text{с}$ ;  $\alpha = 0,0349 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{МПа})$ ,  $N_0 = 12,33 \text{ кВт}$ ;  $\beta = 3,068 \text{ кВт/МПа}$ .

Приведем зависимости (3), (4) к безразмерной форме, выбирая в качестве характерных величин, в отличие от [8], теоретическую подачу и номинальное давление (на рис. 4,  $P_H = 12,74$  МПа):

$$q(p) = \frac{Q(p)}{Q_T} = 1 - (1 - \eta_H^o) p, \quad p = \frac{P}{P_H}, \quad \eta^o = \frac{Q}{Q_T}, \quad \eta_H^o = \frac{Q_H}{Q_T}, \quad (5)$$

$$\tilde{N}(p) = \frac{N(p)}{Q_T P_H} = \tilde{N}_0 + \beta_0 p, \quad \tilde{N}_0 = \frac{N_0}{Q_T P_H}, \quad \beta_0 = \frac{\beta}{Q_T}, \quad (6)$$

где  $\eta_H^o$  — значение объемного КПД в номинальном режиме, в примере  $\eta_H^o = 0,862$ .

Экспериментальные данные по другим моделям вполне удовлетворительно согласуются с безразмерными зависимостями (5), (6).

Зависимость КПД от давления, снятая с графиков рабочих характеристик [9], также была приведена к безразмерной форме:

$$\theta(p) = \eta / \eta_{\max}. \quad (7)$$

Однако для разных моделей они заметно отличались (рис. 5).

Для проверки значения КПД были рассчитаны как отношение величин из экспериментов (полезной мощности  $N_u$  к затраченной мощности  $N$ ):

$$\eta_{\text{расч}}(P) = N_u(P) / N(P) = P \cdot Q(P) / N(P), \quad (8)$$

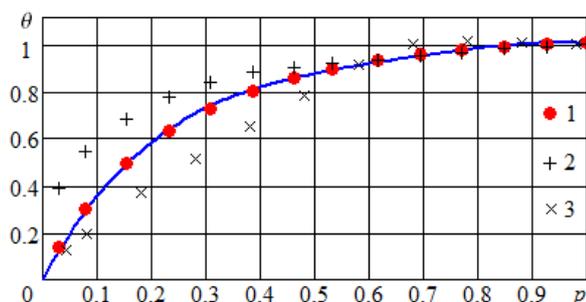


Рис. 5. Зависимость относительного КПД от безразмерного давления. Точки — экспериментальные данные [9]: 1 — пересчитанные по формуле (8); 2 — снятые с графика поршневого насоса 10/40; 3 — 30/15. Линия — результат расчета по (9)

Рассчитанные по формуле (8) значения КПД в безразмерной форме (точки 1 на рис. 5) отличаются для разных моделей насосов менее чем на 10 % и хорошо ложатся на кривую 4-го порядка:

$$\theta_{\text{расч}}(p) = p(4,3 - 8,4p + 8,1p^2 - 3,0p^3). \quad (9)$$

Можно предположить, что при подготовке [9] к печати упомянутые графики КПД были начерчены с заметными погрешностями, так как они не соответствуют графикам подачи и затраченной мощности.

Примерный вид рабочих характеристик бетононасоса можно представить по безразмерным зависимостям (5), (6), (9). Например, пусть в бетонона-

сосе BSA 14000 SHP-D<sup>7</sup> установлена частота с теоретической подачей  $Q_T = 17 \text{ дм}^3/\text{с}$ . Тогда номинальное давление на выходе будет равно:

$$P_H = N_u / Q_T = 326 / 17 = 19,18 \text{ МПа} . \quad (10)$$

Максимальный КПД бетононасосов наблюдается в номинальном режиме согласно [1]  $\eta_{\max} = 0,69$ . Неопределенным параметром остается объемный КПД в номинальном режиме, так как его значения нет в технической документации. Для определенности примем  $\eta_H^0 = 0,86$ . Примерный вид рабочих характеристик бетононасоса показан на рис. 6.

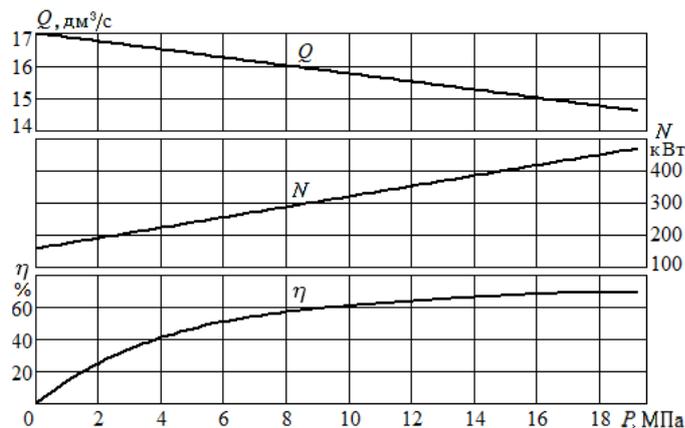


Рис. 6. Примерный вид рабочих характеристик бетононасоса BSA 14000 SHP-D с теоретической подачей  $Q_T = 17 \text{ дм}^3/\text{с}$

По рисунку 6 видно, что даже в номинальном режиме рассмотренного насоса подача будет заметно меньше идеальной  $Q_H = 14,6 \text{ дм}^3/\text{с}$ . Построив зависимость потерь давления в бетоноводе от расхода по формуле (2), можно оценить подачу, затраченную мощность и КПД насосной установки в рабочей точке.

Таким образом, можно считать установленным, что представляемые производителями поршневых бетононасосов зависимости подачи от давления на выходе (диаграммы производительности) состоят из двух участков: основного, который описывается гиперболой, и горизонтального при малых расходах смеси. Последний обусловлен срабатыванием предохранительного клапана, при этом полезная мощность и коэффициент полезного действия установки падают. На основном участке диаграммы полезная мощность остается неизменной, поэтому увеличение подачи ведет к снижению давления. Показано, что представляемые отдельными производителями номограммы получены из диаграмм производительности с помощью расчета гидравлических потерь в бетоноводе при определенных (не оговоренных производителем) реологических характеристиках перекачиваемой смеси. И диаграммы, и номограммы позволяют найти лишь теоретическую подачу и давление в номинальном режиме. Для определения фактических параметров работы установки требуются рабочие характеристики бетононасоса, которые отсутствуют в технической документации производителей современных бетононасосов.

<sup>7</sup> Putzmeister Stationary Concrete Pumps. URL: <http://putzmeister.com/enu/index.htm>.

Предложенный метод позволяет получить примерный вид рабочих характеристик поршневого насоса по данным технического паспорта и безразмерным аналогам. Их уточнение невозможно без соответствующих экспериментальных исследований, в частности для определения объемного КПД бетононасоса, хотя бы в номинальном режиме работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aldred J. Burj Khalifa — a new high for high-performance concrete // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 2010. Vol. 163(2). Pp. 66—73.
2. Комаринский М. В. Производительность поршневого бетононасоса // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6(11). С. 43—49.
3. Великанов Н. Л., Наумов В. А., Примак Л. В. Определение рабочей точки бетононасоса // Механизация строительства. 2015. № 9. С. 42—44.
4. Великанов Н. Л., Наумов В. А., Примак Л. В. Совершенствование методики гидравлического расчета потерь в бетоноводе // Механизация строительства. 2015. № 10. С. 22—25.
5. Великанов Н. Л., Наумов В. А., Примак Л. В. Основные этапы выбора стационарного бетононасоса // Механизация строительства. 2016. № 9. С. 44—49.
6. Великанов Н. Л., Наумов В. А., Корягин С. И. Определение производительности поршневого бетононасоса // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2018. № 2(44). С. 8—11.
7. Velikanov N. L., Koryagin S. I., Naumov V. A. Characteristics of Plunger Pumps // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. № 6. Pp. 428—430.
8. Великанов Н. Л., Наумов В. А. Расчет характеристик трехплунжерных насосов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2018. № 11. С. 60—67.
9. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер, Я. Т. Ковалев, Б. Б. Некрасов и др. ; под ред. Б. Б. Некрасова. Минск : Вышэйшая школа, 1985. 385 с.

© Наумов В. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Наумов В. А. Взаимное соответствие номограмм, диаграмм производительности и рабочих характеристик поршневых бетононасосов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 224—232.

Об авторе:

Наумов Владимир Аркадьевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, Калининградский государственный технический университет. Российская Федерация, г. Калининград, Советский пр., 1, каб. 372; [vladimir.naumov@klgtu.ru](mailto:vladimir.naumov@klgtu.ru)

**Vladimir A. Naumov**

**Kaliningrad State Technical University**

#### MUTUAL CORRESPONDENCE OF NOMOGRAMS, PERFORMANCE DIAGRAMS AND WORKING CHARACTERISTICS OF PISTON CONCRETE PUMPS

The article shows that the performance diagrams presented by the manufacturers of piston concrete pumps consist of two sections. In the main section of the diagram, the useful power remains unchanged. The horizontal section is caused by the actuation of the safety valve. Nomograms are obtained from performance diagrams for certain rheological characteristics of the pumped mixture. There are no characteristics curves in the technical documentation of manufacturers of modern concrete pumps. The proposed method allows to obtain an approximate view of the working characteristics of the piston pump according to the technical data sheet and dimensionless analogues.

**Key words:** piston concrete pumps, flow rates, outlet pressure, performance diagrams, nomograms, hydraulic losses in the concrete guide, characteristic curves, dimensionless shape.

*For citation:*

Naumov V. A. [Mutual correspondence of nomograms, performance diagrams and working characteristics of piston concrete pumps]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 224—232.

*About author:*

**Vladimir A. Naumov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Water Resources Department, Kaliningrad State Technical University. 1, off. 372, Sovetsky Ave., Kaliningrad, 236022, Russian Federaton; [vladimir.naumov@klgtu.ru](mailto:vladimir.naumov@klgtu.ru)

УДК 338

**В. Г. Поляков, Т. А. Сабитова, Е. Д. Соболева**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛГОГРАДА**

В работе рассматривается целесообразность спортивных объектов в связи с прошедшим в России чемпионатом мира по футболу 2018 года, а также основные методы оценки имущества для спортивных объектов. Раскрыты основные характерные особенности спортивных сооружений, необходимые для определения стоимости спортивных сооружений. Описаны наиболее часто используемые подходы к оценке спортивных сооружений, их характеристикам, условиям использования и информации, необходимой для их использования. Были выявлены отличительные характеристики спортивных сооружений, которые предусматривают особый подход к оценке этих объектов эффективности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** спортивное сооружение, оценка стоимости, эффективность, подходы к оценке, сравнительный подход, доходный подход, затратный подход.

Прошедший в России чемпионат мира по футболу, а также другие крупнейшие спортивные международные мероприятия являются важным импульсом привлечения огромного интереса к России во всем мире. Это открывает возможности развития города, региона и страны, где проводится мероприятие, увеличения числа людей, занимающихся спортом, создания новых рабочих мест и т. д. В дополнение к реконструкции существующих спортивных сооружений и строительству новых мероприятий вызывает активную модернизацию общественных инфраструктур и развитие связанных с ним коммерческих объектов.

В этом контексте проявляется использование спорта и иных мероприятий для решения проблем обновления городской инфраструктуры. Готовность властей с согласия общественности расширить сферу экономических и социальных функций спорта для населения может внести позитивный вклад в качественную трансформацию всего региона [1].

После окончания знаковых спортивных мероприятий наступает стадия их дальнейшей эксплуатации или так называемое «наследие». Для проведения чемпионата мира по футболу в 2018 году было построено много новых стадионов, что обуславливает повышение интереса предпринимателей к данной сфере. Подтверждение этому — возрастающая статистика сделок по приобретению спортивных объектов и спортивных клубов.

Однако опыт стран, в которых уже прошли такие мероприятия, показывает, что в дальнейшем возникают проблемы эксплуатации этих сооружений, которые были построены именно для проведения того или иного мероприятия, в том числе Олимпийских игр.

Прослеживаются и другие проблемы, такие как окупаемость стадионов и спортивных комплексов.

Для эффективного распределения средств просто построить стадион, который будет соответствовать требованиям и будет работать, недостаточно.

Одним из основных вопросов является окупаемость денежных средств после ввода в эксплуатацию спортивного комплекса, так как основную статью расходов финансирует государство, какую-то часть — частные инвесторы, работа по принципу государственно-частного партнерства. Именно поэтому после завершения строительства и проведения всех мероприятий для инвесторов главным вопросом становится срок возврата их вложений [2].

Решающим фактором прибыльности объекта является его многофункциональность, постоянная загрузка различными мероприятиями, предоставление функций досуга для различных групп людей и связанных с ними услуг, которые повышают эффективность их использования и их финансовую доходность.

Именно поэтому стала прослеживаться тенденция проведения спортивных соревнований и мероприятий вместе с развлекательной программой. Такая тенденция помогает создать более продолжительный эффект у зрителей и позволяет повысить время проведения мероприятия.

*Экономический эффект* — это результат проведения определенных мероприятий с точки зрения «затраты — результат».

Согласно определению С. Н. Зубарева [3] количественно измеримые показатели для анализа экономической эффективности спортивных сооружений включают в себя:

- год ввода объекта в эксплуатацию;
- срок полезного использования;
- фактическую жизнь объекта;
- пропускную способность (плановая и текущая).

Поэтому, четко устанавливая цели и формулируя задачи в начале проекта, определяются результаты, которых желают достичь.

Количественно измеримые показатели для анализа бюджетной эффективности спортивных объектов [3]:

- фактический объем оказанных бюджетных услуг (чел.\*часов, руб.);
- объем бюджетного финансирования на 1 чел.\*час предоставленных бюджетных услуг;
- коэффициент эффективности освоения бюджетного финансирования (количество чел.\*часов на 1000 руб.).

Показатели экономической эффективности:

#### **Критерии технической эффективности**

*Техническая эффективность* — это эффективность применения фонда затраченного времени на работу и ресурсных возможностей спортивного объекта.

Для оценки какого-либо объекта недвижимости используется три подхода:

#### **1. Доходный подход**

Согласно этому подходу стоимость объекта оценки может быть определена исходя из расчета текущей стоимости ожидаемых доходов (расходов) с учетом адекватной нормы прибыли и всех допустимых рисков, связанных с деятельностью субъекта оценки. Наиболее распространенными методами в доходном подходе являются метод капитализации доходов и метод дисконтирования денежных потоков (DCF). Кроме того, метод DCF позволяет учитывать любые изменения в доходах и расходах.

Первоначально применение доходного подхода к оценке крупных спортивных арен затруднительно из-за того, что сложно точно предсказать де-

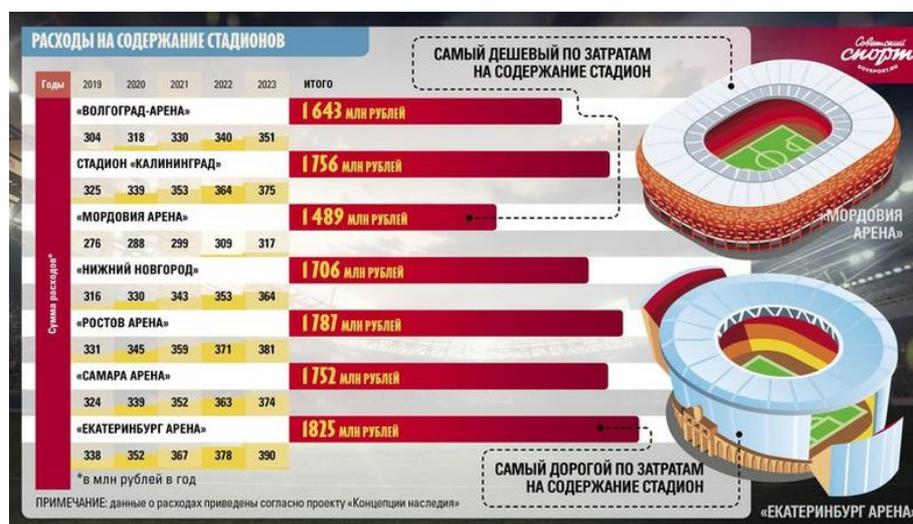
нежные потоки, которые принесет сооружение. Например, арена будет получать основной доход в день матча (доход от дня матча), но как определить посещаемость, которая во многом зависит от успеха команды, играющей на этой арене. В один год команда может показать максимальные результаты, сыграть в европейских соревнованиях и бороться за чемпионство в чемпионате страны, мира, а в другой год все может обернуться наоборот. В пример можно привести самый посещаемый матч во время ЧМ-2018 в Волгограде 28 июня 2018 Япония — Польша (42 тысячи 189 зрителей), также в 2019 г. группировка «Ленинград» устроила первый в истории «Волгоград Арены» концерт на площадке стадиона, собрав 40 254 зрителей.

Поэтому поток денежных средств с любых мероприятий на стадионе будет нестабильным. Для оценки лучше подойдет метод дисконтирования. Основная цель применения выбранного подхода состоит в точном определении всех источников дохода стадиона.

К примеру, можно выделить основные направления:

- доходы от продажи входных билетов;
- доход от сдачи в аренду офисных, ресторанных, торговых площадей;
- доходы от рекламы;
- проведение дополнительных мероприятий (концерты, тренировки, политические выступления);
- доходы от проведения международных, региональных выставок;
- доход от аренды футбольного поля (для частных лиц и организаций).

Ознакомившись со статистикой использования футбольных стадионов<sup>1</sup>, можно сделать вывод, что в среднем на постоянные издержки для содержания стадиона приходится 15 процентов дохода. Также одной из основных статей расхода является налог на имущество. Расходы на содержание стадионов к ЧМ-2018 (40—60 тыс. мест) представлены на рисунке ниже.



Расходы на содержание стадионов к ЧМ-2018 (40—60 тыс. мест)

<sup>1</sup> Неподъемное «наследие» ЧМ-2018: новые арены станут тяжелым грузом регионов  
 URL: <https://sportsweek.org/ru/football/worldcup-2018/160694495/>.

В среднем для содержания одного такого объекта требуется 300 млн рублей. Согласно «Концепции наследия чемпионата мира по футболу FIFA 2018 г.»<sup>2</sup>, до 2023 г. арены будут финансироваться за счет федеральных средств. До конца 2019 г. их передадут в собственность субъектов РФ, и после 2023 г. обязанность финансирования перейдет к ним же — должны изыскать внебюджетные источники. Таков план правительства. Для региона 300 млн рублей — существенная нагрузка [4].

Поэтому, исходя из того, что спортивные сооружения имеют в среднем 30—40-летний срок эксплуатации, было бы неуместно строить модель прогнозирования на такой длинный срок в условиях нестабильной российской экономики. К примеру, в Волгограде «Центральный стадион» был открыт в 1962 г., просуществовал до 2014 г., срок службы составлял 52 года и являлся самым вместительным во всей Волгоградской области. В 2014 году он был снесен и на его месте началось возведение нового стадиона к ЧМ-2018 по футболу. Исходя из этого, прогнозный период 5—7 лет представляется наиболее объективным, по окончании которых необходимо рассчитать стоимость реверсии с использованием модели Гордона.

При расчете ставки дисконтирования особенно интересно, как учитывается специфика футбольного стадиона, а именно риски, специфичные для него. Можно использовать накопительную модель построения согласно следующему выражению:

$$Rd = Rf + P1 + P2 + P3,$$

где  $Rd$  — ставка дисконтирования;  $Rf$  — безрисковая ставка;  $P1$  — премия за риск инвестирования в объект недвижимости;  $P2$  — премия за низкую ликвидность;  $P3$  — премия за инвестиционный менеджмент.

## 2. Сравнительный подход

Рыночный (сравнительный) подход — это метод оценки стоимости различных видов объектов в сравнении с аналогичными объектами недвижимости, и по которым можно найти необходимую информацию о ценах сделок.

В основе данного метода лежат следующие принципы оценки недвижимости:

принцип спроса и предложения (существует связь между потребностью в собственности и ограниченным предложением);

принцип замещения (информированный, разумный покупатель не будет платить за имущество больше, чем покупная цена (предложение) на том же рынке другого имущества с аналогичной полезностью).

Если рассматривать сравнительный подход для оценки спортивных комплексов, то он является сложным в реализации из-за отсутствия подобных сделок.

Поэтому ключевыми факторами стоимости стадионов будут следующие:

- местонахождения объекта (к примеру, в центре города, что будет удобней для зрителей, так как добраться будет намного проще);
- развитость транспортной инфраструктуры до стадиона, ведь чем удобнее добраться, тем больше доходов он может принести [5];

<sup>2</sup> Распоряжение Правительства РФ от 24 июля 2018 г. № 1520-р «Об утверждении Концепции наследия чемпионата мира по футболу FIFA 2018 г».

• парковочные места рядом с комплексом, так как влияние на экономическую эффективность объекта оказывает уровень обслуживания транспортно-пешеходных потоков, нагрузка на окружающую среду.

### 3. Затратный подход

В этом случае основой для оценки недвижимости является предположение о том, что затраты, необходимые для создания объекта в его нынешнем состоянии или для воспроизведения его расходных материалов, а также рыночная стоимость объекта, на котором расположен объект, являются приемлемым ориентиром для определения рыночной стоимости имущества, подлежащего оценке.

Особенностью применения затратного подхода является понимание разницы между стоимостью замещения (стоимостью воспроизведения) предмета и стоимостью замены (стоимостью воспроизведения) определяется затратами в текущих ценах на построение точной копии объекта, оцененной с использованием тех же архитектурных и дизайнерских решений, конструкций и строительных материалов и с таким же качеством строительных работ. При определении стоимости замещения воспроизводится тот же функциональный износ объекта и те же недостатки в архитектурных решениях, что и у оцениваемого объекта. Стоимость замещения определяется текущей стоимостью строительства объекта, который имеет предполагаемую эквивалентную полезность, но построен в новом архитектурном стиле с использованием современных моделей, материалов, дизайна и планировки.

Что касается стадиона г. Волгограда, его параметры следующие: земельный участок площадью 20,22 га<sup>3</sup>. Внешний фасад представляет опрокинутый усеченный конус высотой 49,5 м и диаметром приблизительно 303 м. На стадионе имеется 88 лестниц, центральная — шириной 13 метра, 46 лифтов.

«Волгоград Арена» отличается вантовой кровлей: ее несущие элементы не металлические конструкции, как на большинстве крупных стадионов, а стальные канаты. Их общая длина составляет 12 км, а вес — 2300 тонн.

Дмитрий Медведев в ноябре 2019 г. подписал распоряжение о безвозмездной передаче стадиона в собственность области. Для того чтобы все правильно организовать без ущерба для бюджета, необходимо принять стадион на баланс. Помимо этого, продумать правильную эксплуатацию спортивного сооружения.

Также необходимо решить вопрос о том, на каких условиях местная команда «Ротор» будет играть на волгоградской арене, если за это заплатят спортивные секции, которые могут быть расположены в многочисленных подтрибунах. В дальнейшем в соответствии с бизнес-планом планируется около 17 тыс. кв. метров внутренних и подтрибунных помещений сдавать в аренду предпринимателям. Общая площадь всех помещений внутри стадиона, включая раздевалки для футболистов, залы для пресс-конференций и т. д., составляет 88 тысяч квадратных метров. В арендуемых помещениях будут открыты спортивные секции для детей, базы отдыха для семей, в том числе кулинарные мастерские для мини-кафе и ресторанов с презентацией национальных кухонь. Идея создания в одном из больших залов стадиона Волгоградского музея спорта не только футбола, но и всех других видов спорта, в

<sup>3</sup> Уроки проектирования стадионов чемпионата мира по футболу 2018 года. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uroki-proektirovaniya-stadionov-chempionata-mira-po-futbolu-2018-goda>.

которых волгоградские спортсмены добились самых высоких результатов, активно развивается.

Сущность вышеизложенного сводится к тому, что тема экономической и технической целесообразности актуальна как для предпринимателей, так и для государственных органов.

В итоге рассмотрения данного вопроса видно, что в современных условиях инфраструктурная составляющая мировой спортивной индустрии играет очень важную роль. Первый шаг — улучшить имидж страны на международном уровне. Действительно, получив право проводить крупное спортивное мероприятие на своей территории, регион может улучшить свою репутацию благодаря надежности, ответственности и организации.

Другим важным аспектом является то, что строительство инфраструктурных объектов положительно влияет на будущее развитие региона, трансформирует его облик и открывает много новых возможностей как для экономики, так и для населения. Финансовая составляющая имеет большую значимость, потому что проведение важных международных спортивных мероприятий приводит к притоку капитала. Для экономики многих регионов события стали существенным стимулом развития.

Крупные спортивные арены прошли большой путь развития, превратившись в многофункциональные комплексы, занимающие стратегическое место в экономической, социальной и культурной жизни населения регионов. Целесообразность спортивных объектов может во многом определить путь развития всего региона.

Сравнение экономической целесообразности показывает, что наиболее оправданным, уместным и точным является использование затратного подхода к оценке, который наилучшим образом отражает специфику данного объекта спортивной инфраструктуры и учитывает его уникальные параметры.

Однако применение затратного подхода требует систематизации широкого спектра данных, касающихся затрат на строительство стадиона. За основу может быть взят зарубежный опыт, но базу должна составлять информация о проектах, осуществляемых в России. К сожалению, в этом отношении мы находимся только в начале пути, и многое еще предстоит сделать. Чтобы начать эту работу, стоило бы оценить строительство стадионов для проведения матчей чемпионата мира по футболу 2018 года.

Сравнительный подход сложно реализовать на практике из-за того, что не существует устоявшегося на рынке продаж футбольных стадионов. Однако при покупке спортивных клубов или инфраструктуры инвесторы могут руководствоваться набором предлагаемых факторов стоимости [6].

Применение доходного подхода очень трудоемко, так как необходимо учитывать множество различных нюансов и деталей, характерных для этих объектов недвижимости.

В заключение следует отметить, что большинство стадионов могут генерировать отрицательный денежный поток, что делает бессмысленным использование подхода, основанного на доходах. Наконец, любые будущие прогнозы движения денежных средств требуют большого количества допущений и сценариев, вероятность которых может отличаться на практике. Особое внимание следует уделить расчету учетной ставки, которая должна в полной мере учитывать специфику футбольных стадионов и риски, связанные с их функционированием.

Несмотря на это, на практике наиболее распространенным является использование экономически эффективного подхода к оценке стадиона, особенно для проектов по реконструкции существующих спортивных арен.

Следовательно, чтобы избежать пустых арен, как это происходит в настоящее время в некоторых других странах, сейчас необходимо предпринять следующие шаги в создании общей концепции управления элементами футбольной инфраструктуры после чемпионата мира по футболу 2018 года:

- Как показала практика, разработчики программ «Наследие» очень поверхностно подходят к последующей эксплуатации спортивных сооружений. Во многих отношениях они не учитывают местные или региональные факторы, которые напрямую влияют на финансовые перспективы будущей работы стадионов (например, численность населения, развитие футбольных традиций, туристические потоки, состояние инфраструктуры, наличие спортивных школ и т. д.).

- Необходимо разработать конкретный план использования территории стадиона и прилегающей территории и инфраструктуры с максимальной гибкостью в тактической и стратегической перспективе.

- Организовать отдел по маркетингу, который в последующем будет обеспечивать краткосрочные и долгосрочные события для стадиона. Основные области возможного использования стадиона после чемпионата мира 2018 года можно обобщить по следующим группам:

- спортивное использование — использовать по назначению в качестве арен для спортивных соревнований по различным видам спорта;

- использование в культурно-развлекательных целях — организация выставок, концертов, форумов и конференций;

- коммерческое использование — аренда территории и помещений стадиона, а также возможно заключать различные рекламные и спонсорские соглашения;

- комбинированное использование — объединение нескольких вариантов. Скорейшая реализация предложенных мер позволит городским властям начать подготовку к чрезвычайно сложной и в то же время чрезвычайно важной задаче — добиться снижения бюджетной нагрузки и, возможно, получения прибыли от футбольных арен после ЧМ по футболу 2018 года.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nikiforova M. E., Polyakov V. G., Yashchenko S. O.* Regional planning of socio-economic development (including the industrial construction and social infrastructure) // SCTCMG 2018: International Scientific Conference «Social and Cultural Transformations in the Context of Modern Globalism». The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. Pp. 794—797. URL: <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2019.03.02.90>.

2. *Поляков В. Г., Яценко С. О.* Структурная трансформация региональной системы с инвестиционно-инновационной точки зрения // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 10. Инновационная деятельность. 2013. № 1(8). С. 5—10.

3. Оценка эффективности использования спортивных объектов (сооружения) / С. Н. Зубарев, И. И. Смирнова, Н. С. Гришина, С. М. Кучеров и др. М., 2008.

4. *Яценко С. О., Зубкова И. Ю.* Экономические аспекты развития транспортной инфраструктуры Волгоградской области // Российское предпринимательство. 2015. Т. 16. № 7. С. 999—1010. URL: <https://bgscience.ru>.

5. *Никифорова М. Е., Яценко С. О.* Социально-экономическое развитие территорий реализации крупных инвестиционных проектов // Экономика устойчивого развития. 2019. № 1(37). С. 208—210.

6. Поляков В. Г., Яценко С. О. Структурная трансформация региональной системы с инвестиционно-инновационной точки зрения // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 10. Инновационная деятельность. 2013. № 1(8). С. 5—10.

© Поляков В. Г., Сабитова Т. А., Соболева Е. Д., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Поляков В. Г., Сабитова Т. А., Соболева Е. Д. Сравнительные подходы к экономической и технической целесообразности спортивных сооружений на примере г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 233—240.

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](mailto:polana@mail.ru)

**Сабитова Татьяна Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [ta.sabitova@gmail.com](mailto:ta.sabitova@gmail.com)

**Соболева Екатерина Дмитриевна** — магистрант кафедры экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [eka11.97@mail.ru](mailto:eka11.97@mail.ru)

**Vladimir G. Polyakov, Tat'yana A. Sabitova, Ekaterina D. Soboleva**

**Volgograd State Technical University**

## EVALUATION OF ECONOMIC AND TECHNICAL EFFICIENCY OF USE OF SPORTS STRUCTURES

The paper considers the relevance of the rating of sports facilities in connection with the 2018 World Cup in Russia, as well as the main methods of assessing property for assessing sports facilities. The main characteristic features of sports facilities necessary for determining the cost of sports facilities are disclosed. The most commonly used approaches to the assessment of sports facilities, their characteristics, conditions of use and information necessary for their use are described. Distinctive characteristics of sports facilities were identified that provide a special approach to the assessment of these performance facilities.

**Key words:** sports facility, cost estimation, efficiency, assessment approaches, comparative approach, income approach, cost approach.

*For citation:*

Polyakov V. G., Sabitova T. A., Soboleva E. D. [Evaluation of economic and technical efficiency of use of sports 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], 2020, iss. 1, pp. 233—240.

*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](mailto:polana@mail.ru)

**Tat'yana A. Sabitova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ta.sabitova@gmail.com](mailto:ta.sabitova@gmail.com)

**Ekaterina D. Soboleva** — Master's Degree student of Expertise and Operation of Real Estate Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [eka11.97@mail.ru](mailto:eka11.97@mail.ru)

УДК 622.32

**В. В. Габова, П. А. Бармин, В. Ю. Петров**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **РАСЧЕТ ВЫСОТЫ ФАКЕЛЬНОЙ ТРУБЫ И АНАЛИЗ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ**

В данной статье проведено исследование зависимости от высоты факела радиуса опасной территории, за пределами которой может функционировать обслуживающее оборудование и персонал.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** факельная установка, интенсивность излучения, зона безопасной эксплуатации, тепловое напряжение.

Большая часть оборудования нефтяной промышленности относится к классу повышенной опасности, т. к. оно работает под высоким давлением, а продуктом в нем являются взрывоопасные, легковоспламеняемые и токсичные вещества. Одним из представителей такого оборудования являются факельные системы (ФС), характеризующиеся, в отличие от других инженерных сооружений, повышенным уровнем опасности. Вопреки простоте конструкции факельных установок, вероятность возникновения аварийной ситуации и влияние вредных факторов намного выше, чем на технологическом оборудовании. Повышенную взрыво- и пожароопасность ФС обусловлена тем, что через открытый конец факельной трубы может попасть воздух, который может привести к образованию взрывоопасной смеси в ФС, а на оборудование, емкости, сооружения и персонал, находящиеся в зоне эксплуатации факела, оказывает воздействие мощная тепловая радиация<sup>1</sup> [1]. Чтобы обеспечить безопасные условия эксплуатации и минимизировать потенциальные риски, требуется принятие ряда технических и организационных решений, многие из которых должны быть предприняты еще на стадии проектирования. В настоящее время существуют различные виды ФС по конструктивным особенностям: закрытые, горизонтальные и вертикальные. В отличие от вертикальных факелов, в закрытых ФС воздействие на прилегающую территорию минимально, а в горизонтальных роль защитного барьера от теплового излучения выполняет ограждение (земляное обвалование), поэтому расположение вертикального факела оказывает особое влияние на общую компоновку нефтепромыслового объекта.

Безаварийность функционирования факельных установок напрямую зависит от правильности расчетов таких параметров, как диаметр факельной трубы, который независимо от переменного расхода и нагрузки должен обеспечивать стабильное горение, высоты ствола и территории вокруг него, на котором тепловое излучение оказывает минимальное влияние<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Инженерные решения по технике безопасности в пожаро- и взрывоопасных производствах. М.: Химия, 1974. С. 344.

<sup>2</sup> Инструкция по проектированию и безопасной эксплуатации факельных установок для горючих газов и паров. ВСН 9—76. Минхимпром. М., 1977. С. 39.

Высота факельной установки и безопасной зоны вокруг него принимается исходя из интенсивности теплового напряжения  $q$ , которое может выдержать персонал или оборудование. Эта величина составляет 17 и 34 МДж/(м<sup>2</sup> · ч) [2, 3]. Соответственно, при большей интенсивности следует предпринимать защитные меры. Такое допущение по величине максимального теплового напряжения у основания факельной установки позволяет упростить расчет и предложить номограмму (рис. 1, а) для определения интенсивности теплового излучения  $q$  в заданной точке по известному расстоянию  $x$  и предварительно найденному расстоянию  $r$  (рис. 1, а).

$$q = \frac{\varepsilon Q}{4 \pi [x^2 + H(H + L)]} \quad (1)$$

Задаем  $x = 0$ , т. к. у основания трубы интенсивность теплоизлучения  $q = 17$  МДж/(м<sup>2</sup> · ч), и решаем относительно требуемой высоты трубы  $H$ .

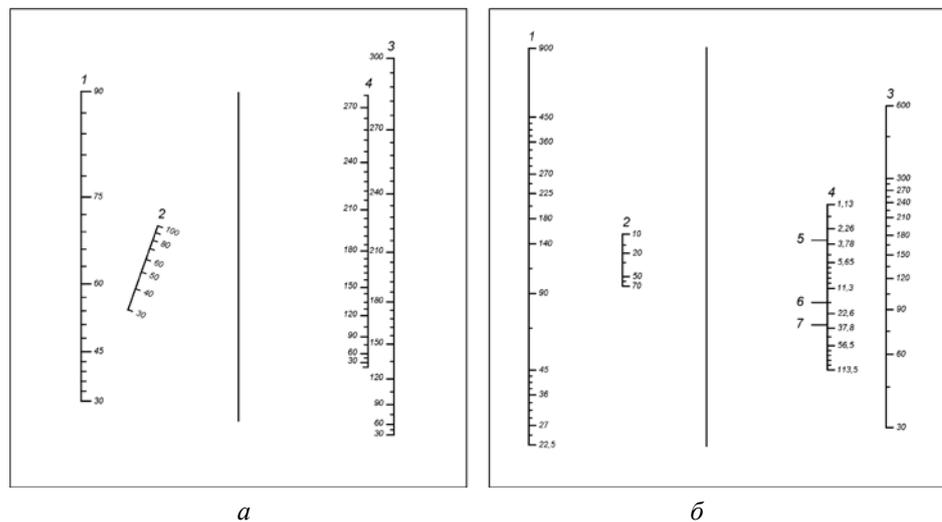


Рис. 1. Номограмма: а — расстояние от центра пламени и основания трубы до точки с интенсивностью теплоизлучения  $q$ ; 1 — высота факельной трубы, м; 2 — отношение высоты к диаметру; 3 — расстояние от центра пламени, м; 4 — расстояние от основания трубы, м; б — интенсивность теплоизлучения на расстоянии  $x$  от основания факельной трубы: 1 — расход газа, т/ч; 2 — молекулярная масса; 3 — расстояние от центра пламени до объекта, м; 4 — интенсивность теплоизлучения, МДж/(м<sup>2</sup> · ч); 5 — интенсивность солнечного излучения, МДж/(м<sup>2</sup> · ч); 6 — максимальная интенсивность теплоизлучения для персонала (при больших значениях требуется защита), МДж/(м<sup>2</sup> · ч); 7 — максимальная интенсивность теплоизлучения для оборудования, МДж/(м<sup>2</sup> · ч)

При выборе высоты факельной трубы и расчете расстояния от основания факела до безопасной зоны следует отдавать предпочтение более низкой факельной трубе, т. к. она создает меньшую тягу. При необходимости обслуживания контрольных точек, находящихся у основания факельной трубы, в расчете принимают, что расстояние от основания факельной установки до безопасной зоны равно нулю<sup>3</sup> [4].

<sup>3</sup> ГОСТ Р 53681—2009. Нефтяная и газовая промышленность. Детали факельных устройств для общих работ на нефтеперерабатывающих предприятиях. Общие технические требования. ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ». 2009. С. 7—9.

При расчете факельной трубы, применяемой на нефтяных промыслах, а также на других предприятиях, где сжигают сбросные газы, используют подобный вариант расчета. При этом исходят из следующих предпосылок<sup>4</sup> [5, 6]:

- скорость истечения сжигаемого газа должна составлять не более 0,5 числа Маха;
- форма пламени может быть эффективно аппроксимирована тонким цилиндром;
- наклон пламени определяется суммой векторов, характеризующих скорость ветра и скорость истечения газа;
- центр зоны максимально излучения расположен на одной трети длины пламени от горелки факельной трубы.

По рисунку 2, *a* можно определить высоту факельной трубы:

$$H = r \cos \Theta - \frac{L}{3} \cos \alpha; \quad (2)$$

$$r = 0,1 \left( \frac{\varepsilon W q_1 S_f}{4\pi q} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $r$  — расстояние от центра пламени до объекта, м;  $\varepsilon$  — кажущаяся излучательная способность (0,12 для факелов в открытом пространстве);  $W$  — расход газа, м<sup>3</sup>/ч;  $q_1$  — теплота сгорания газа МДж/(м<sup>2</sup> · ч);  $q$  — допустимая интенсивность теплового излучения; для человека — 1,6 МДж/(м<sup>2</sup> · ч);  $S_f$  — поправочный коэффициент формы, учитывающий изменение пламени под действие ветра (определяется по рис. 2, *б*);  $S_f = \sin(\alpha + \Theta)$ ;  $\operatorname{tg} \alpha = u_b/u$ ;  $u_b$  — скорость ветра, м/с;  $u$  — скорость истечения сжигаемого газа, м/с.

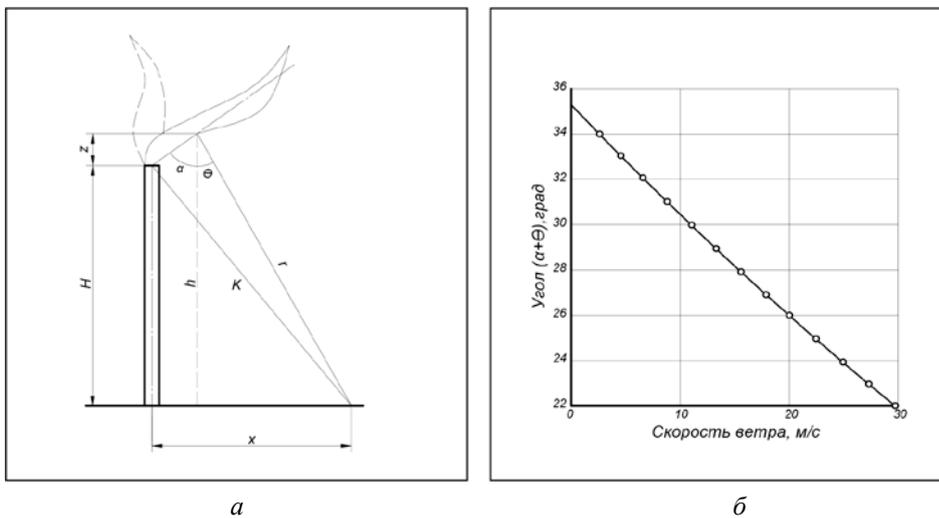


Рис. 2. *a* — схемы факельной трубы и пламени; *б* — график для определения поправочного коэффициента с учетом изменения формы пламени при ветре

<sup>4</sup> Руководство по безопасности факельных систем. М. : Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». 2013. Сер. 03. Вып. 68. С. 42—44.

Если объем сжигаемого попутного газа больше  $700\,000\text{ м}^3/\text{сутки}$ , то факел следует устанавливать на расстоянии от остальных сооружений. Радиус удаления можно определить по уравнению:

$$x = \sqrt{K^2 - H^2}, \quad (4)$$

где  $K^2 = r^2 + (L/3)^2 - (2/3)Lr \cos(\Theta + \alpha)$ . (5)

Длину пламени можно определить по формуле:

$$L = d\sqrt{\Delta p}, \quad (6)$$

где  $d$  — диаметр трубы факела, м;  $\Delta p$  — скоростной напор вытекающего из горелки газа, Па.

Для факельных труб с горелками, которые дают возможность сжигать газ до 0,5 числа Маха, скорость газа можно найти по уравнению

$$u = 45,8\sqrt{\frac{kT}{M}}. \quad (7)$$

Изменение объемной скорости истечения газа ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), в зависимости от изменения температуры и давления, учитывается следующим выражением:

$$W_d = \frac{WT}{10,55p}, \quad (8)$$

где  $W_d$  — действительная объемная скорость газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Разделив выражение (8) на (7), находят площадь поперечного сечения факельной горелки,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{W_d}{u} = 0,00206\sqrt{\frac{MT}{k}}\left(\frac{W}{p}\right). \quad (9)$$

Диаметр факельной трубы равен, м:

$$d = 0,051\left(\frac{MT}{k}\right)^{0,25}\left(\frac{W}{p}\right)^{0,5}. \quad (10)$$

Для факельных установок повышенной производительности, расположенных вблизи высоких сооружений, следует выбирать факельную трубу достаточной высоты, чтобы исключить воздействие на персонал сильного теплового напряжения [7]:

$$q = q_c + q_\phi. \quad (11)$$

Тепловые напряжения в расчетных точках (рис. 3, а, б) определяются суммой солнечной радиации и теплового напряжения, создаваемого факелом [ $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ]:

$$q_{\text{пд.ф}} = q_{\text{пд}} - q_c. \quad (12)$$

Разностью между предельно допустимым тепловым напряжением и напряжением, создаваемым солнечной радиацией, является предельно допустимое тепловое напряжение:

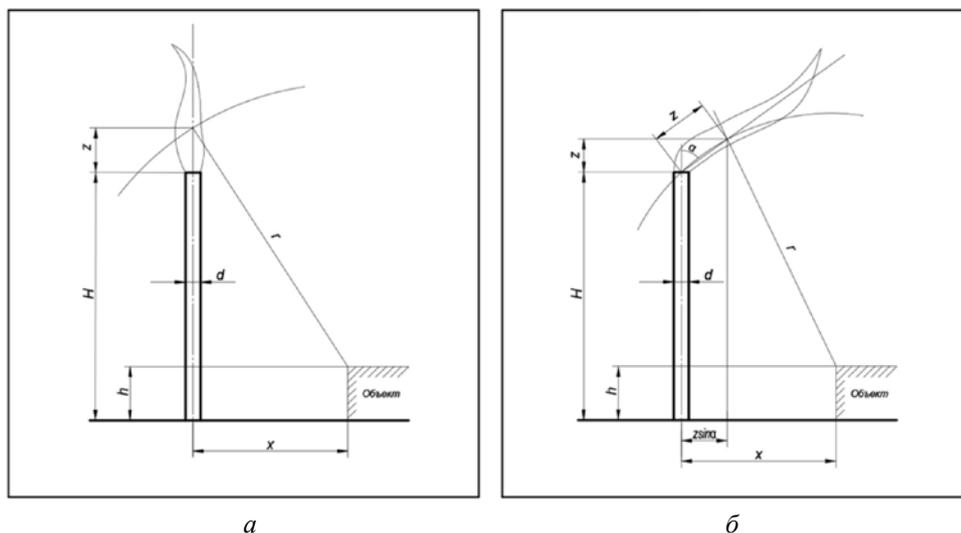


Рис. 3. Расположение племени относительно объекта: *a* — при отсутствии ветра ( $r$  — расстояние от центра излучения пламени до объекта, м); *б* — при ветре ( $r$  — расстояние от центра излучения пламени до объекта, м)

Для обеспечения стабильного горения без отрыва пламени скорость истечения сбрасываемого газа из труб большого диаметра не должна превышать 0,2...0,5 от скорости звука в этом газе.

Ветровая нагрузка при скоростях сброса, составляющих 0,2 и более от скорости звука в сбрасываемом газе, в расчете не учитывается, т. к. угол отклонения пламени от вертикали и снижение центра пламени невелик и его влиянием на повышение теплового напряжения в расчетной точке можно пренебречь.

При истечении сбрасываемого газа с высокими скоростями форму пламени можно без большой погрешности представить в виде тонкого цилиндра. Положения центра зоны излучения относительно поверхности земли можно представить как среднее геометрическое, исходя из размеров пламени и высоты трубы:

$$x' = \sqrt{H(H + L)}. \quad (13)$$

На рисунке 4 приведена безразмерная зависимость положения центра излучения ( $z$ ) от диаметра и высоты трубы при скоростях сбрасываемого газа более 0,2 от скорости звука, построенная на основе расчетов для факельных труб диаметров  $d = 0,5...2$  м и высотой  $H = 20...200$  м. Высоту факельной трубы  $H$  рекомендуется принимать не менее  $35d$ .

При скоростях сброса, составляющих менее 0,2 от скорости звука в сбрасываемом газе, зона опасного теплового воздействия увеличивается, что обусловлено значительным отклонением пламени от вертикали и снижением центра его излучения.

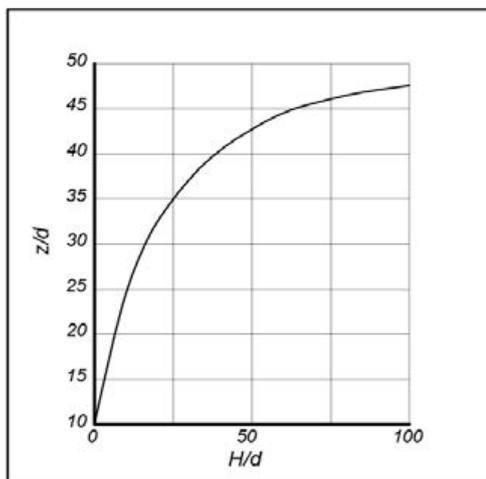


Рис. 4. Зависимость положения центра пламени от высоты и диаметра трубы при скоростях истечения сбрасываемого газа более 0,2 от скорости звука в этом газе

При ламинарном истечении сбрасываемого газа длина пламени составляет 12—15 диаметров трубы, а центр излучения находится на расстоянии 1/3 длины пламени от среза факельной трубы. Расстояние  $z$  от среза факельной трубы до центра излучения пламени при истечении газов со скоростью менее 0,2 от скорости звука принимается равным, м:

$$z = 5d. \quad (14)$$

Тепловое напряжение от факела  $q_\phi$  при выбранной высоте трубы  $H$  и заданном расстоянии  $x$  определяется по формулам [МДж/(м<sup>2</sup> · ч)]:  
при отсутствии ветровой нагрузки:

$$q_\phi = \frac{\varepsilon Q}{4\pi [x^2 + (H - h + z)^2]}; \quad (15)$$

при ветровой нагрузке:

$$q_\phi = \frac{\varepsilon Q}{4\pi [(x - z \sin \alpha)^2 + (H - h + z \cos \alpha)^2]}, \quad (16)$$

где  $Q$  — количества тепла, выделяемо пламенем, МДж/ч;  $h$  — высота объекта, м;  $z$  — расстояние от центра излучения пламени до верха факельной трубы, м;  $\alpha$  — угол отклонения пламени под действием ветра, град;  $\varepsilon$  — коэффициент излучения пламени.

При выбранной высоте трубы  $H$  и предельно допустимой тепловой нагрузке  $q_{\text{пл.ф}}$  минимальное расстояние от основания факела до объекта  $x_{\text{мин}}$  можно определить по формулам, м:

при отсутствии ветровой нагрузки:

$$x_{\text{мин}} = \sqrt{\frac{\varepsilon Q}{4\pi q_{\text{пл.ф}}} - (H - h + z)^2}; \quad (17)$$

при ветровой нагрузке:

$$x_{\min} = \sqrt{\frac{\varepsilon Q}{4\pi q_{\text{пл.ф}}} - (H - h + z \cos \alpha)^2} + z \sin \alpha. \quad (18)$$

Если задано расстояние  $x$ , то высоту трубы  $H$  можно определить по формулам, м:

при отсутствии ветровой нагрузки:

$$H = \sqrt{\frac{\varepsilon Q}{4\pi q_{\text{пл.ф}}} - x^2} + h - z; \quad (19)$$

при ветровой нагрузке:

$$H = \sqrt{\frac{\varepsilon Q}{4\pi q_{\text{пл.ф}}} - (x - z \cos \alpha)^2} + h - z \cos \alpha. \quad (20)$$

Предельно допустимые тепловые напряжения  $q_{\text{пл}}$  принимают в зависимости от технологических условий:

- для отдельно стоящих, не требующих постоянного обслуживания факельных установок и для случая, когда персонал может покинуть опасную зону в течение 20 с, значение  $q_{\text{пл}} = 17$  МДж/(м<sup>2</sup> · ч);

- если персонал покидает опасную зону в течение 3 мин., то  $q_{\text{пл}} = 20$  МДж/(м<sup>2</sup> · ч);

- если персонал по технологическим условиям должен находиться в зоне теплового воздействия в течение продолжительного времени, то  $q_{\text{пл}} = 5$  МДж/(м<sup>2</sup> · ч);

- тепловое напряжение, создаваемое солнцем  $q_c$ , составляет 2,5...3,4 МДж/(м<sup>2</sup> · ч) и зависит от географической широты. Его принимают по СП для полудня июля месяца<sup>5</sup>.

#### Пример расчета

В факельную трубу диаметром 450 мм сбрасывается 50000 м<sup>3</sup>/ч газа следующего состава: 86 % (об.) CH<sub>4</sub>, 1 % C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 1 % C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, 3 % H<sub>2</sub>, 8 % N<sub>2</sub> и 1 % (об.) CO<sub>2</sub> (при нормальных условиях). Температура газа — 20 °С. На расстоянии 35 м от основания трубы расположена технологическая установка высотой 20 м, на которой установлено оборудование, нуждающееся в периодическом обслуживании. В случае внезапного выброса персонал может покинуть установку в течение 3 мин. Скорость ветра — 10 м/с. Необходимо определить необходимую высоту трубы.

В соответствии со справочными данными теплота сгорания газа  $Q_p = 36$  МДж/м<sup>3</sup>; отношение теплоемкостей  $k = c_p/c_v = 1,31$ ; молекулярная масса  $M = 17,2$ ; солнечная радиация  $q_c = 2,6$  МДж/(м<sup>2</sup> · ч).

По формуле (21) определяем коэффициент излучения:

$$\varepsilon = 0,048\sqrt{M} = 0,048\sqrt{17,2} = 0,1. \quad (21)$$

<sup>5</sup> СП 131.13330.2018. Строительная климатология. СНиП II-A.6—72. М. : Стройиздат, 2013. С. 319.

Предельно допустимое тепловое напряжение, создаваемое факелом, равно  $q_{\text{пд.ф}} = 10 - 2,6 = 7,4$  МДж/(м<sup>2</sup> · ч).

Общее количество тепла, выделяемого факелом, определим по уравнению:

$$Q = W \cdot Q_{\text{н}} = 36 \cdot 50\,000 = 18 \cdot 10^5 \text{ МДж/ч.} \quad (22)$$

Скорость истечения газов найдем по формуле:

$$u = \frac{pM}{R \cdot T} = \frac{50\,000}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,45^2} = 87 \text{ м/с.} \quad (23)$$

Скорость звука в сбрасываемом газе рассчитываем по выражению:

$$u_3 = 18,3 \sqrt{\frac{R \cdot T}{M}} = 91,5 \sqrt{\frac{1,31 \cdot 293}{17,2}} = 434 \text{ м/с.} \quad (24)$$

Так как  $u/u_3 = 87/434 = 0,2$ , ветровую нагрузку в расчет не принимаем (угол отклонения пламени  $\alpha = 6^\circ 35'$ ;  $\text{tg}\alpha = 10/87 = 0,115$ ).

Принимаем  $H/d = 80$  (при  $H/d > 80$  величина  $z/d$  практически не изменяется, поэтому вносимая погрешность невелика; погрешность приводит к увеличению высоты трубы). Отсюда (см. рис. 3, а) отношение  $z/d = 47$ ;  $z = 47 \cdot 0,45 = 21$  м.

По уравнению (19) определяем высоту трубы:

$$H = \sqrt{\frac{0,198 \cdot 18 \cdot 10^5}{4 \cdot 3,14 \cdot 7,4}} - 35^2 + 20 - 21 = 50 \text{ м.}$$

Анализируя уравнение (20), можно сделать вывод: исходя из того, что показатели, оказывающие прямо пропорциональное воздействие на высоту факела, остаются неизменными и обычно диктуются техническими требованиями или требованиями заказчика, зависимость расстояния до объекта от высоты факела приобретает следующий вид (рис. 5).

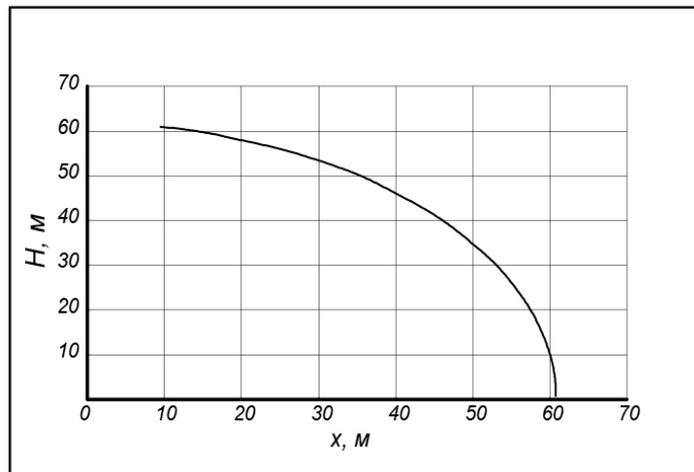


Рис. 5. Зависимость высоты факельной трубы от расстояния до объекта

Исходя из полученного графика, можно сделать вывод, что чем выше ствол факела, тем меньше радиус опасной зоны до объекта, а изменение высоты объекта  $H$  смещает полученную кривую на эквивалентную величину. Следовательно, при увеличении высоты ствола факела инженерные и технологические сооружения, а также обслуживающий их персонал можно расположить ближе к ФС.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность труда в промышленности / А. И. Эльнатанов и др. 1974. № 2. С. 49—50.
2. Kent G. R. Hydrocarbon Process. 1964. Vol. 43. № 8. Pp. 121—125.
3. Tan S. H. Hydrocarbon Process. 1967. Vol. 46. № 1. Pp. 172—176.
4. Брейман М. И. Инженерные решения по технике безопасности в пожаро- и взрывоопасных производствах. М.: Химия, 1974. С. 344.
5. Оуэн Л. А., Джинн-Хай-Хуанг. Инженер-нефтяник. 1975. № 9. С. 16—19.
6. Назаров А. А., Поникаров С. И. Факельные установки: монография. Казань: КГТУ, 2009. С. 49—55.
7. Стрижевский И. И., Заказное В. Ф. Охрана труда и техника безопасности очистки сточных вод и отходящих газов в химической промышленности. М.: НИИТЭХИМ, 1970. С. 15—18.

© Габова В. В., Бармин П. А., Петров В. Ю., 2020

Поступила в редакцию  
в ноябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Габова В. В., Бармин П. А., Петров В. Ю. Расчет высоты факельной трубы и анализ ее влияния на компоновочные решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 241—250.

Об авторах:

**Габова Виктория Викторовна** — канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [gabovavv@yandex.ru](mailto:gabovavv@yandex.ru)

**Бармин Павел Александрович** — магистрант кафедры нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [paulbarmin@mail.ru](mailto:paulbarmin@mail.ru)

**Петров Владислав Юрьевич** — магистрант кафедры нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [osakura97@mail.ru](mailto:osakura97@mail.ru)

**Viktoriya V. Gabova, Pavel A. Barmin, Vladislav Yu. Petrov**

**Volgograd State Technical University**

#### CALCULATION OF HEIGHT OF A TORCH PIPE AND ANALYSIS OF ITS INFLUENCE ON LAYOUT DECISIONS

This article investigates the dependence of the torch height on a hazardous area at which service equipment and personnel can function.

**Key words:** flare unit, radiation intensity, safe operation zone, thermal voltage.

*For citation:*

Gabova V. V., Barmin P. A., Petrov V. Yu. [Calculation of height of a torch pipe and analysis of its influence on layout decisions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 241—250.

*About authors:*

**Viktoriya V. Gabova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Oil and Gas Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [gabovavv@yandex.ru](mailto:gabovavv@yandex.ru)

**Pavel A. Barmin** — Master's Degree student of Oil and Gas Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [paulbarmin@mail.ru](mailto:paulbarmin@mail.ru)

**Vladislav Yu. Petrov** — Master's Degree student of Oil and Gas Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [paulbarmin@mail.ru](mailto:paulbarmin@mail.ru)

УДК 624.131:502 (470.45)

**С. В. Кузнецова, С. И. Махова, Е. А. Степанова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СРЕДУ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

Анализ изменения инженерно-геологических и геоэкологических условий, физико-механических свойств грунтов Волгограда позволил выявить их влияние на природно-технические системы и среду обитания человека.

Изменения обстановки природной среды г. Волгограда произошли в результате инженерно-хозяйственного освоения — это изменение водного баланса между поверхностными, грунтовыми и глубокими подземными водами. Планировка территории, ликвидация естественных дренажей (оврагов и балок) приводят также к подъему уровня грунтовых вод, подтоплению оснований и фундаментов зданий и сооружений, снижению несущей способности грунтов основания и, как следствие, — к деформации, а в критических ситуациях — разрушению зданий и сооружений. Обозначены геопатогенные зоны — локальные участки поверхности, характеризующиеся тем, что длительное пребывание человека в их пределах отрицательно сказывается на его здоровье. Радоноопасность.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические и геоэкологические условия, специфические грунты, разлом, опасные геологические процессы и явления, подтопление, загрязнение, радон.

Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городов весьма разнообразны и определяются, с одной стороны, природной обстановкой, с другой — планировочными решениями и их реализацией в застройке и эксплуатации городских территорий.

Волгоград — крупнейший индустриальный центр Нижнего Поволжья, расположенный на правом берегу Волги, протяженностью более 85 км. В административном отношении город подразделяется на 8 районов, между которыми существуют разрывы до нескольких километров — это долины рек и балок, крупные овраги, заболоченные пространства, оползни по берегам Волги и ее притоков. Для Волгограда характерны значительные антропогенные нагрузки на объекты окружающей среды, обусловленные интенсивной деятельностью промышленных предприятий и транспорта. Изменениям подвергаются воздушная, водная и геологическая среда, почва, растения и в итоге все это сказывается на здоровье населения. Различные отрасли народного хозяйства вносят неодинаковый вклад в изменение геологической среды и особенно ее загрязнение.

Сложность геологического строения Волгограда обусловлена тем, что он расположен в прибортовой зоне Прикаспийской синеклизы, для которой характерна солянокупольная тектоника. Основные черты геологического строения определялись крупным сбросом с амплитудой более 200 м, проходящим в левобережной части долины реки Волги и скрытым под современным аллювием. Сброс делит долину Волги на западную и восточную части, отличающиеся по геологическому строению [1—3].

В соответствии с инженерно-геологическим районированием (масштаб 1:50 000) в пределах Волгоградской городской агломерации выделено 7 типов инженерно-геологических районов, различающихся не только по геологическому строению, но и по рельефу, гидрогеологическим условиям, составу и свойствам пород, что создает существенно различные условия для протекания геологических процессов [2, 4]. В сфере воздействия промышленно-гражданского строительства принимают участие отложения палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. Характерной особенностью территории Волгограда, вызванной засушливостью климата, низкой увлажненностью грунтов, является высокая чувствительность глинистых грунтов к изменению влажности. Проблема освоения территорий, сложенных набухающими грунтами, склонными к набуханию и формированию оползней, в настоящее время является весьма актуальной. Недооценка набухания и оползней явилась причиной деформации многих промышленных и гражданских сооружений. Несмотря на то, что процессы набухания и оползни существенно осложняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений, районы их распространения интенсивно осваиваются [2].

Строительство жилых и промышленных зданий предполагает первичную планировку территории со значительным объемом перемещенных грунтов, ликвидируются овраги и их отвершки. Только в нижнем течении долины р. Царицы ликвидировано более 16 км боковых ответвлений; преобразуются многие склоны — в основном проводится выполаживание, террасирование. К началу 80-х гг. коэффициент горизонтальной эрозионной расчлененности для застроенной части Волгограда уменьшился в сравнении с первоначальным с 1,5 до 0,8. В зоне городской застройки ликвидировано полностью или частично более 100 км оврагов [5].

Поддержание стабильности геологической среды урбанизированных территорий является условием обеспечения экологического комфорта для населения.

Изменение инженерно-геологических условий тесно связано с изменением геоэкологических условий — проблемой геопатогенеза. К настоящему времени существование геопатогенных зон (ГПЗ) является неоспоримым фактом. Под ГПЗ, как правило, понимаются локальные участки земной поверхности, характеризующиеся тем, что длительное пребывание человека в их пределах отрицательно сказывается на его здоровье. Они формируются вблизи крупных трещин в горных массивах, в оврагах, над месторождениями полезных ископаемых и пустотами в толщах горных пород. Геопатогенез может быть вызван комплексом таких факторов, как изменения геофизических, геохимических, геомагнитных и других полей, а также уровня естественного радиационного фона, обусловленного радоном. Для уменьшения или предотвращения влияния ГПЗ на здоровье человека требуется определить причину патогенеза и в зависимости от выявленных факторов проводить опережающие меры по ограничению влияния ГПЗ [2].

Изучением данной проблемы занимались как зарубежные, так и отечественные исследователи: М. К. Tolba, Р. Н. Goldman, V. Fritsch, К. Bachler, М. Curry, Е. Hartmann, Р. Schweizer, А. Дубров, О. Красавин, Е. Мельников, В. Н. Уткин, А. Куимов, В. С. Яковлев, Н. К. Рыжакова, В. И. Макаров, В. И. Бабак, А. Л. Дорожко, В. М. Бондаренко, Н. В. Демин и др. Исследова-

нием ГПЗ в Волгоградской области занимались В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, С. В. Честнов и др. [2].

В 1997—1999 гг. для территории Волгоградской области, включая Волгоградскую городскую агломерацию (ВГА), были получены значимые корреляционные связи между показателями здоровья человека и степенью нарушения территории тектоническими структурами — активными разломами осадочного чехла, солянокупольными дислокациями. Это подтвердило гипотезу о геопатогенезе, связанном с подобными структурами и вызванными ими аномалиями геофизических и геохимических полей [2, 6—8].

Другие зоны биологического дискомфорта возникают на городских территориях в пределах ареалов распространения структурно-неустойчивых грунтов, теряющих при увлажнении прочность, что приводит к деформациям и авариям зданий. Эти просадочные и набухающие грунты почти повсеместно распространены на территории Волгограда и Волжского и, будучи слабопроницаемыми, создают благоприятные условия для развития подтопления. В итоге здесь развит комплекс неблагоприятных процессов: подтопление (420 участков), набухание (167 аварий зданий), просадки (63 аварии). Негативное воздействие подтопления не ограничивается авариями зданий и затоплением подвалов [2]. Поддержание стабильности геологической среды урбанизированных территорий является условием обеспечения экологического комфорта для населения. По данным санэпиднадзора Волгограда, более половины жалоб от населения связано с затоплением подвалов при подтоплении, образованием трещин в зданиях. В отсыревших помещениях повышается влажность, вызывающая нефрит, ангину, ревматизм, пневмонию, катар верхних дыхательных путей, грипп. Основным фактором в алергопатологии является грибковое загрязнение воздуха из-за развития микрофлоры на сырых стенах. Наблюдается рост популяций кровососущих комаров *C. p. pipiens* и *C. p. molestus*, круглогодично размножающихся в подвалах подтопленных зданий. Анализ данных по 163 подтопленным зданиям в Волгограде выявил появление древоразрушающих грибов, микроскопических (*Penicillium*, *Asperillus*) и патогенных (*Mucor*) грибов, комаров типа *C. p. pipiens* и *C. p. molestus* [2].

В пределах селитебной зоны на территории, расчлененной оврагами, наблюдается процесс оползания глин, вызванный повышением уровня грунтовых вод и обводнением пород, реже в откосах открытых выемок.

Оползни хвалыньских глин, распространенные по берегу Волги, всегда угрожали городским территориям и различным инженерным сооружениям. До недавнего времени строительство жилых домов в оползнеопасной зоне было запрещено. На этих участках оползневой станцией, затем Волгоградской комплексной геологической экспедицией по оборудованной сети пьезометрических скважин и геодезических реперов проводились режимные наблюдения. В настоящее время такие наблюдения отсутствуют. В последние годы оползневые и оползнеопасные территории все чаще застраиваются при выполнении определенного комплекса берегоукрепительных работ [9].

Третий тип геопатогенеза связан с химическим загрязнением почв, грунтовых и подземных вод, воздуха. Выбросы в атмосферу промышленных предприятий, ТЭС, автотранспорта, содержащих весь спектр тяжелых метал-

лов и их окислов и выпадающих на землю с дождями и снегом, накапливаясь в почвах, загрязняют приземный воздух, вызывая различные заболевания населения. Очень важно отметить, что тяжелые металлы по токсикологическим оценкам стресс-индексов занимают одно из первых мест среди загрязняющих веществ. На территории предприятий химической, металлургической и др. промышленности в результате загрязнения окружающей среды наблюдается формирование гидрогеохимических аномалий. Например, по данным изысканий НВ ТИСИЗ, на шламонакопителе металлургического завода проточными загрязнен ергенинский водоносный горизонт, где минерализация воды возросла в 10 раз и составляет 32 г/л при резко увеличенном содержании закисного железа и меди. Промышленными стоками алюминиевого завода загрязнен тот же ергенинский водоносный горизонт, где отмечается повышенное содержание фтора (в грунтовых колодцах — до 7 мг/л, в пруде-испарителе — до 40 мг/л). На юге города хазарский водоносный горизонт пресных вод загрязняется промышленными стоками из шламонакопителя сталепроволочно-канатного завода и другими крупными предприятиями химической промышленности.

Еще одним крупным источником загрязнения являются канализационные сети, утечки из которых обуславливают резкое увеличение содержания в воде нитратов, нитритов, аммиака, хлора, сульфатов, железа и других вредных компонентов.

Для г. Волжского и Ленинска, Средней Ахтубы и других населенных пунктов крупнейшим загрязнителем подземной и поверхностной гидросферы и атмосферного воздуха являлся пруд-накопитель «Большой Лиман» (площадь загрязнения подземных вод составляла 252 км<sup>2</sup>). Длительное время в «Большой Лиман» сбрасывались сточные воды (СВ) предприятий Волжского и завода «Волжский Оргсинтез». Переполнение лимана до объема 190 млн м<sup>3</sup> вызвало необходимость наращивания дамб вокруг лимана для избежания прорыва СВ, что вызвало бы экологическую катастрофу из-за химического состава стоков.

Исследованиями СПбГСТМИ (1992) было выявлено наличие в накопителе жидких отходов (НЖО) метилдигида ропирана (МДР) в количестве более 50 ПДК, диметилдиоксана (ДМД) — 50—500 ПДК, метилбутандиэла (МБД) — более 10 ПДК, пиранового спирта (СП) и диоксанового спирта (ДС) — сотни ПДК, фенола — 250—5000 ПДК, анилина — 200—250 ПДК и других токсичных веществ.

Исследованием техногенного загрязнения подземных вод Волгоахтубинской поймы занимались ВГЭ и другие организации. На фоне умеренно опасного загрязнения были выделены участки загрязнения по содержанию цианидов (> 25 ПДК), нефтепродуктов (15—40 ПДК), фенолами (10 ПДК). Качество питьевой воды по содержанию загрязняющих веществ не соответствует ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая» по нитратам (6—9 ПДК), сульфатам, хлоридам, сухому остатку, фенолам (2—7 ПДК), нефтепродуктам (до 10 ПДК), марганцу (до 10 ПДК), кадмию (до 8 ПДК) и др.

Проблема Большого Лимана вызвала необходимость подземного захоронения токсичных отходов завода «Волжский Оргсинтез». Полигон захоронения был сооружен на восточном склоне Паромненского соляного купола. Нижнебайосский пласт-коллектор мощностью 41...46 м находится на глубине

830...1350 м и сложен кварцевыми песками. После захоронения значительного количества накопившихся жидких отходов и сокращения отдельных производств наметилось улучшение экологической обстановки окружающей среды.

Еще одним крупным источником загрязнения окружающей среды было предприятие ВОАО «Химпром» — это одно из старейших предприятий в городе, начавшее работать в 1931 г. [10]. Наиболее значимый из объектов ВОАО «Химпром» — крупнейший в России шламонакопитель «Белое море» площадью 25 га, расположенный на пойменной террасе р. Волги. Всего было захоронено более 4 млн кубометров опасных веществ, что превысило в 3 раза проектный объем отстойника. После заполнения отстойника до отметок 8,7...8,8 м (по проекту 7,5 м) началась фильтрация воды в основании откоса ограждающей дамбы. В 1965 году дамба обрушилась, и сточные воды хлынули в Волгу, что вызвало массовую гибель рыб. После аварии был поставлен вопрос о ликвидации накопителя, но это было выполнено лишь в 1988 г. С 1949 до 1988 года в шламонакопитель сбрасывались практически все наиболее грязные жидкие отходы и шлам. За 80 лет завод накопил огромное количество хлорорганических отходов, представляющее экологическую угрозу для всего региона. И только в конце 2011 г. Министерство промышленности и торговли России включило ВОАО «Химпром» в ФЦП «Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2009—2014 гг.)». В 2012—2013 годы были выполнены инженерно-геологические и геоэкологические изыскания с целью изучения инженерно-геологических и геоэкологических условий территорий химически опасных объектов на ВОАО «Химпром». Анализы шлама, твердых известьсодержащих отходов и сточной воды показали, что во всех образцах содержатся химические вещества в количествах, в десятки и сотни раз превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). К таким веществам относятся сероводород, сероуглерод, ртуть, хлористый метил, меркаптан и хлор (органически связанный).

Сложившаяся экологическая обстановка на территории ВОАО «Химпром» обуславливает необходимость утилизации всего объема, содержащегося в накопителе шлама, а также загрязненных грунтов, выявленных в процессе изысканий [10].

Анализ сложившихся инженерно-геологической и экологической обстановок в районах создания шламонакопителя «Белое море» и накопителя жидких отходов «Большой лиман» показал, что при их строительстве и эксплуатации проекты выполнялись не в полном объеме, а увеличение объема шлама и сточных вод выше проектных отметок привело к загрязнению геологической среды, подземной и поверхностной гидросферы и атмосферы на огромной территории за пределами этих объектов.

Следующий тип возможного геопатогенеза обусловлен радоноопасностью. Хорошо известно, что радон по проницаемым зонам земной коры попадает в помещения, является мощным альфа-излучателем и способен вызывать онкологические заболевания людей, в особенности проживающих на нижних этажах зданий [10].

Обеспечение радоновой безопасности — одна из важнейших проблем инженерной геологии и геоэкологии, которая активно обсуждается в послед-

ние десятилетия. Основным источником поступления радиоактивных эманаций (радона и торона) в жилые и производственные помещения (здания и сооружения) в большинстве случаев является геологическое пространство под ними. При этом, как правило, чем выше концентрация эманаций в грунтовой воздухе, тем выше их эксхалация с дневной поверхности и тем больше вероятность повышения концентраций радиоактивных эманаций в воздухе помещений.

Таким образом, при прогнозировании радоноопасности должны учитываться три основных компонента геологического пространства:

1) наличие геологических образований — продуцентов радона и торона и условия их эксхалации в открытое или поровое пространство;

2) пути миграции радиоактивных газов, способы их переноса и транспортировки (наличие или отсутствие структурных ловушек, пород-сорбентов, трещиноватости, гидрогеологические факторы и т. п.);

3) условия разгрузки газовых потоков на дневной поверхности.

На территории Волгограда находится более 100 предприятий, использующих в своей деятельности радиоактивные и другие источники ионизирующих излучений. Контроль за соблюдением требований законодательства при обращении с радиоактивными материалами осуществляется Волгоградским областным и городским центрами санитарно-эпидемиологического надзора, Волгоградской комплексной территориальной инспекцией по ядерной и радиационной безопасности, Волгоградским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Управлением по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям при администрации Волгограда, Государственным комитетом по охране окружающей среды Волгограда.

В Волгограде изучение пространственного распространения радиоэкологической обстановки проводило с 1993 г. геологоразведочное предприятие «Кольцовгеология». Детальному обследованию подвергнуто 100 % городской территории. В соответствии с принятой методикой работы включали: аэрогамма-спектрометрическую съемку масштаба 1:10000, маршрутную автогамма-спектрометрическую съемку и пешеходную гамма-съемку масштаба 1:2000.

С целью оценки радоноопасности селитебной территории г. Волгограда и ее районирования партией № 117 ГП «Кольцовгеология» в течение 1999 г. проведен комплекс радиометрических, дозиметрических, гамма-спектрометрических и эманационных измерений в объеме 637 координатных точек по сети от  $0,5 \times 0,5$  км до  $1 \times 1$  км.

За период обследования было выявлено 30 очагов радиационного загрязнения локального характера, требующих дезактивации. Во всех случаях специализированными организациями проведены работы по ликвидации очагов радиоактивного загрязнения.

Итоги работы ГП «Кольцовгеология» в 1999 г. показали, что Волгоград, не отраженный прежде на общероссийской карте радоноопасности как потенциально опасный регион, при более детальном рассмотрении в реальности включает массу участков с аномальными концентрациями по радону. Исследованиями кафедры инженерной геологии и геоэкологии ВолгГАСУ было установлено, что повышенные уровни содержания радона в почвенном воздухе не ограничиваются контурами майкопских глин, обладающих макси-

мальной радиоактивностью (в частности, к ним приурочены урановые месторождения «Ульдючина» и «Кегульта» в Калмыкии), а связаны также с зонами тектонических нарушений. В северной части города они приурочены к системе разломов, перпендикулярных планетарному Волжскому разлому (долина рр. Царицы, Ельшанки и др.) и параллельных ему. В южной части города радоновые аномалии связаны с солянокупольными структурами (Красноармейской, Бекетовской) и сопутствующими им разломами.

Изучением влияния радона на здоровье человека в различных инженерно-геологических районах (ИГР) Волгограда до настоящего времени практически не занимались, за исключением работ кафедры ИГиГ ВолгГАСУ [11, 12].

Из вышесказанного следует, что изучение территории Волгограда и области в целом по степени радоноопасности необходимо проводить с учетом инженерно-геологических условий.

Обобщая итог результатов изучения ОА Rn по всем районам города, нужно отметить, что на изученной части города (~ 290 км<sup>2</sup>) наиболее «радоноопасная» майкопская свита занимает около 28 %, киевская — 6 %, а наименее опасные — царицынская — 42 % и ергенинская — 24 % [2, 8, 13]. Таким образом, в совокупности две свиты палеогена — майкопская и киевская — занимают практически 1/3 площади города. Учитывая потенциальную радоноопасность этих свит при наличии жилой или планируемой в их пределах застройки, они должны сопровождаться обязательным изучением Rn в почве, его плотности потока в атмосферу, а также изучением ОА в жилых и производственных помещениях.

В соответствии с требованиями Российского законодательства на каждой площадке, отведенной под строительство отдельного здания, необходимо выполнять радиационно-экологические изыскания. В зависимости от плотности потока радона из почвы должен определяться класс требуемой противорадионовой защиты. К сожалению, в настоящее время эти требования строительными организациями практически не выполняются. Правительство России (постановление от 06.07.94 № 809) приняло Федеральную целевую программу по снижению уровня облучения населения и производственного персонала от природных радиоактивных источников (ФЦП «Радон») <sup>1</sup>.

Очень важно, чтобы и строительные организации, и физические лица, владеющие участками под строительство индивидуальных жилых домов, были заинтересованы в проведении радиационно-экологических изысканий и при необходимости предусматривали радонозащитные мероприятия. На стадии проектирования и строительства зданий проведение подобных мероприятий значительно дешевле, чем для законченных объектов [14]. Следует отметить, что в последнее время отдельные изыскательские организации (например, ООО «Радан» и др.) выполняют инженерно-геологические изыскания параллельно с инженерно-экологическими, в результатах которых приводится комплексная характеристика экологического состояния

<sup>1</sup> Постановление Правительства РФ № 809 от 06.07.94 «О федеральной целевой программе снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994—1996 годы». М., 1994.

территории в зоне воздействия объекта (в том числе свидетельство радиационного качества).

После выяснения источников поступления радона принимаются меры к их ликвидации. В России по Нормам радиационной безопасности (НРБ—99), Минздравом и Госкомэпиднадзором установлены следующие требования: контрольные уровни для радона: во вновь строящихся домах — не более 100 Бк/м<sup>3</sup>; в заселенных домах — не более 200 Бк/м<sup>3</sup>; а в случае, если проведенные защитные мероприятия не дают снижения концентрации радона ниже 400 Бк/м<sup>3</sup>, то необходимо решать вопрос о переселении жильцов. Наряду с нормативами по гамма-фону радоновый показатель введен на участки, предназначенные под жилое и промышленное строительство. Показатель радиационной безопасности не может быть проигнорирован ради показателя процента возведения жилья.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галактионов В. Д. Геология района сооружений Волго-Дона. Л., 1960.
2. Инженерная геология и геоэкология Волгограда / В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, С. В. Честнов, С. И. Махова. М. : Волгоград, 2007. 150 с.
3. Синяков В. Н., Кузнецова С. В., Махова С. И. Соляная тектоника Прикаспийской впадины // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья : материалы I регион. науч.-практ. конф., 29—31 окт. 2014 г., г. Геленджик. Краснодар : Просвещение-Юг, 2014. С. 368—373.
4. Синяков В. Н., Кузнецова С. В. Инженерно-геологическое районирование Нижнего Поволжья и прилегающих территорий // Инженерная геология. 1981. № 4. С. 26—37.
5. Кузнецова С. В., Махова С. И. Изменение инженерно-геологических условий территории Волгоградской агломерации под влиянием техногенной нагрузки / Антропогенная трансформация геопространства: история и современность : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, май 2016 г. Волгоград : ВолГУ, 2016. С. 251—259.
6. Аномалии геофизических полей в солянокупольных бассейнах и их связь с здоровьем населения / Синяков В. Н., Кузнецова С. В., Ломовских В. Е., Чурсина М. Е. // Поволж. экол. вестник. Волгоград : ВолГУ, 1998. Вып. № 5. С. 83—89.
7. Синяков В. Н., Кузнецова С. В., Беляева Ю. Л. Геоэкологические проблемы подземных и наземных накопителей жидких отходов в солянокупольных областях. М. : НИИ-Природа. 2001. 153 с.
8. Картирование геопатогенных зон и зон геоэкологической напряженности на территории Волгоградской городской агломерации / В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, С. В. Новикова, С. В. Честнов // Поволжский экологический вестник. Волгоград : ВолГУ, 2002. Вып. № 9. С. 117—122.
9. Кузнецова С. В., Махова С. И. Инженерно-геологическое обоснование строительства на оползнеопасных участках берега Волги в Ворошиловском районе города Волгограда // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 128—133.
10. Кузнецова С. В., Махова С. И. Гидрогеохимические аномалии Волгоградской городской агломерации и примеры их ликвидации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 48. С. 175—183.
11. Честнов С. В. Радон как основной источник ионизирующего облучения населения (на примере города Волгограда) // VII регион. конф. мол. иссл. Волгоградской области. Направление № 16 «Экология, охрана среды, строительство»: Тезисы докладов. Волгоград : ВолГАСА, 2002. С. 20—21.
12. Честнов С. В. Радиоопасность почв урбанизированной территории города Волгограда // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астрахань : АГУ, 2003. С. 191—192.
13. Кузнецова С. В., Махова С. И. Инженерно-геологические условия строительства на майкопских глинах Волгограда // Вестник Пермского национального исследовательского по-

литехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 134—147.

14. Честнов С. В., Чурсина М. Е. Геоэкологическая радиационная обстановка города Волгограда. Новосибирск : НГАСУ, 2003. Т. 6. № 5(26). С. 207—210.

© Кузнецова С. В., Махова С. И., Степанова Е. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Кузнецова С. В., Махова С. И., Степанова Е. А. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы Волгоградской агломерации и их влияние на природно-технические системы и среду обитания человека // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 251—260.

Об авторах:

**Кузнецова Светлана Васильевна** — д-р геол.-минерал. наук, профессор, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

**Махова Светлана Ивановна** — канд. геол.-минерал. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

**Степанова Екатерина Александровна** — доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [ekserstepan@bk.ru](mailto:ekserstepan@bk.ru)

**Svetlana V. Kuznetsova, Svetlana I. Makhova, Ekaterina A. Stepanova**

**Volgograd State Technical University**

## **ENGINEERING-GEOLOGICAL AND GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF VOLGOGRAD AGLOMERATION AND THEIR INFLUENCE ON NATURAL- TECHNICAL SYSTEMS AND HUMAN RESIDENT**

Analysis of changes in engineering-geological and geoecological conditions, physical and mechanical properties of Volgograd soils revealed their influence on natural-technical systems and the human environment.

Changes in the natural environment of the city of Volgograd occurred as a result of engineering and economic development — this is a change in the water balance between surface, ground and deep underground waters. The layout of the territory, the elimination of natural drains (ravines and gullies) also lead to a rise in the groundwater level, flooding of the foundations and foundations of buildings and structures, a decrease in the bearing capacity of the foundations, and as a result, deformation, and in critical situations, the destruction of buildings and facilities. Geopathogenic zones are designated — local surface areas, characterized by the fact that prolonged stay of a person within their limits negatively affects his health. Radon hazard.

**Key words:** geotechnical and geoecological conditions, specific soils, fault, dangerous geological processes and phenomena, flooding, pollution, radon.

*For citation:*

Kuznetsova S. V., Makhova S. I., Stepanova E. A. [Engineering-geological and geoecological problems of Volgograd agglomeration and their influence on natural-technical systems and human resident]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 251—260.

*About authors:*

**Svetlana V. Kuznetsova** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Svetlana I. Makhova** — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Ekaterina A. Stepanova** — Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Departmen, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ekserstepan@bk.ru](mailto:ekserstepan@bk.ru)

УДК 721:502.12

**Е. А. Сухинина**

*Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ АРХИТЕКТОРОМ**

Рассматриваются российские и зарубежные экостандарты для зданий и территорий. Изучается процесс экологически безопасного проектирования. Выявляется роль архитектора в процессе экологической оценки объектов, даются рекомендации.

Предложенная автором концепция для экологического проектирования зданий способна в будущем упростить процесс экосертификации архитектурно-градостроительных объектов для понимания специалистов.

**Ключевые слова:** экологический стандарт, система сертификации, разделы экологической оценки, архитектор, объект.

В европейских странах при планировании любого архитектурно-градостроительного объекта тщательно учитывается экологический, градостроительный и социальный контекст: «Каждый город в своем развитии ставит определенные цели: стимулирование роста экономики, привлечение квалифицированных кадров, повышение энергоэффективности или туристической привлекательности, усиление значения города на международной арене или сокращение пробок на дорогах»<sup>1</sup>.

Цели перехода к зеленому проектированию и строительству следующие: снижение потребления водных и энергетических ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания; повышение качества и долговечности объекта; обеспечение комфортной и безопасной внутренней среды; управление всеми процессами; внедрение инновационных технологических решений.

Около 30 лет развития экологического сертифицирования зданий и территорий в зарубежных странах и более 10 лет в России заставляет задуматься о формировании нового архитектурно-градостроительного пространства, соответствующего требованиям экологических стандартов в строительстве.

Сегодня активно проводится анализ систем экосертификации в европейских странах, выявляются различные подходы к оценке эффективности зеленых зданий и схожести в фундаментальных основах экостандартов [1].

Так, архитектор, проектируя новое здание, закладывает ряд мероприятий, прописанных в системах экологической сертификации, при этом необходимо выявить роль архитектора в процессе экологической оценки.

**Актуальность и задачи исследования** заключаются в необходимости анализа международных экостандартов для зданий, выявлении роли архитектора при сертифицировании.

**Объектом исследования** становятся международные и российские системы экологической сертификации зданий.

**Предметом исследования** является процесс сертифицирования объектов строительства по международным и российским экостандартам.

<sup>1</sup>Книга о полезной и красивой архитектуре. Архитектурная политика как драйвер развития городов : сборник статей. М. : Стрелка, 2016. С. 220.

Изучением устойчивого строительства и зеленой стандартизации занимались многие ученые. Вопросы экологически безопасного проектирования и устойчивого развития среды рассмотрены в работах Е. А. Ахмедовой, А. Г. Большакова, Н. В. Бакаевой, В. И. Иовлева, Г. В. Есаулова, О. Н. Ключковой, В. А. Нефедова, А. Н. Тетиора [2], О. Н. Яницкого.

Среди авторов книг по экоустойчивому проектированию рассмотрены: М. Бауэр М., А. Бэкер, С. Боери, Дж. Винес, Р. Гилман, П. Даунтон, С. Зоколей, В. Линз, Г. Меркат, В. Файст, М. Шварц, Дж. Юделсон, К. Янг.

Вопросы зеленого строительства описывали: А. Гуткин, Г. Д. Крылова, Ю. В. Миллер, М. М. Бродач, Ю. А. Табунщиков [3, 4], А. Н. Ремизов [5, 6], Х. Смиф, П. Мосле.

Автор для обработки собранного материала использует теоретический метод исследования: анализируются экостандарты за рубежом и в России; обобщаются экологические архитектурно-планировочные мероприятия.

В Западной Европе при сертифицировании по экостандартам контролируется пять основных процессов: 1) добыча сырья безопасным способом без вреда природе; 2) транспортировка; 3) устойчивое строительство; 4) эксплуатация с учетом экономии ресурсов; 5) утилизация, повторное использование конструкций, материалов при разборке объекта (рис. 1).

Экологическая безопасность здания также учитывается при оценке: жизненного цикла; обслуживании; экономических параметрах эксплуатации; функциональности работы всех систем; влиянии на окружающую среду; градостроительного и социального контекста (рис. 2).



Рис. 1. Процесс экоустойчивого проектирования и сертифицирования по мировым стандартам

В мировой строительной индустрии насчитывается несколько десятков экологических стандартов для сертифицирования зданий и территорий. На сегодняшний день в 24 странах существуют 32 национальные системы [7].

В нашей стране наиболее часто используются два базовых экостандарта: британский — BREEAM и американский — LEED (более 60 объектов недвижимости в России имеют сертификаты BREEAM и более 20 зданий сертификаты LEED) [8].



Рис. 2. Экологическая оценка объекта строительства

Система экологической сертификации представляет собой не только набор критериев, но и особую методологию оценки, которая позволяет произвести количественную оценку степени соответствия того или иного здания требованиям, установленным стандартами [9, С. 45].

В России также разработаны национальные стандарты экологичности, на текущий период действует более 15 документов (табл. 1).

При анализе экологической оценки зданий выявлены основные разделы, часто рассматриваемые в документах по сертификации:

- 1) прилегающая территория;
- 2) водоэффективность;
- 3) энергосбережение;
- 4) материалы и конструкции;
- 5) отходы;
- 6) микроклимат;
- 7) здоровье и социальное благополучие;
- 8) управление;
- 9) экономика;
- 10) инновации.

В процессе научного исследования определено, что международные эко-стандарты имеют инженерно-технологическую направленность, ориентированную на экономическую выгоду и увеличение доходов, что несколько подавляет количество требований по устойчивому архитектурно-градостроительному проектированию [10] (рис. 3).

По мнению автора, работа архитектора при экологическом сертифицировании объектов недвижимости при новом строительстве усложняется многими факторами, главные из них:

- необходимость включения инженерно-технических решений на ранней стадии проектирования для получения большего количества баллов по сертификации;

- с самого начала задействованы все специалисты, что создает некоторые трудности (уклон в сторону «умного» здания, экономическая направленность проекта, расчет жизненного цикла, расходов на содержание и эксплуатацию);
- большой объем информации для архитектора отвлекает от главного — «архитектурной экологической концепции»;
- ограниченность в возможности выбора экоустойчивой архитектурно-планировочной концепции из-за небольшой доли требований в экостандартах относительно архитектуры.

Таблица 1

*Международные экологические стандарты в строительстве*

ЗАРУБЕЖНЫЕ СТРАНЫ		РОССИЯ	
Год введения	Название экостандарта/страна	Год введения	Название экостандарта
1990	BREEAM (Великобритания)	2010	Корпоративный олимпийский зеленый стандарт
1993	LEED (США)	2010	Зеленый стандарт
2001	CASBEE (Япония)	2010	АДДСЕРТ
2003	Green Star (Австралия)	2011	САР-СПЗС «Малоэтажное строительство»
2007	iiSBE (SB-Tool) (Канада)	2011	СТО НОСТРОЙ 2.35.4—2011
2007	Three Star (Китай)	2012	ГОСТ Р 54964—2012
2009	DGNB (GSBC) (Германия)	2013	САР-СПЗС «Административные здания»
2010	SBAT (Южная Африка)	2014	GREEN ZOOM «Новое строительство»
2012	CERVITEA (Франция)	2014	Eco Village
—	AQUA (Бразилия)	2014	Eco Pro
—	PromisE (Финляндия)	2017	СДС «РУСО. ФУТБОЛЬНЫЕ СТАДИОНЫ»
—	HK BEAM (Гонконг)	2018	САР-СПЗС «Детские и учебные учреждения»
—	GRIHA (Индия)	2018	САР-СПЗС «Спортивные сооружения»
—	Green Building Council Italia (Италия)	2018	GREEN ZOOM «Инновационные научно-технологические центры»
—	VERDE (Испания)	2018	GREEN ZOOM «Устойчивое развитие территории»
—	GBI Malaysia (Малайзия)		
—	Minergie (Швейцария)		
—	Mexico GBC (Мексика)		
—	Green Star NZ (Новая Зеландия)		
—	Lider A (Португалия)		
—	Green Mark (Сингапур)		
—	EEWH (Тайвань)		
—	BERDE / PHILGBC (Филиппины)		
—	Minergie (Швейцария)		

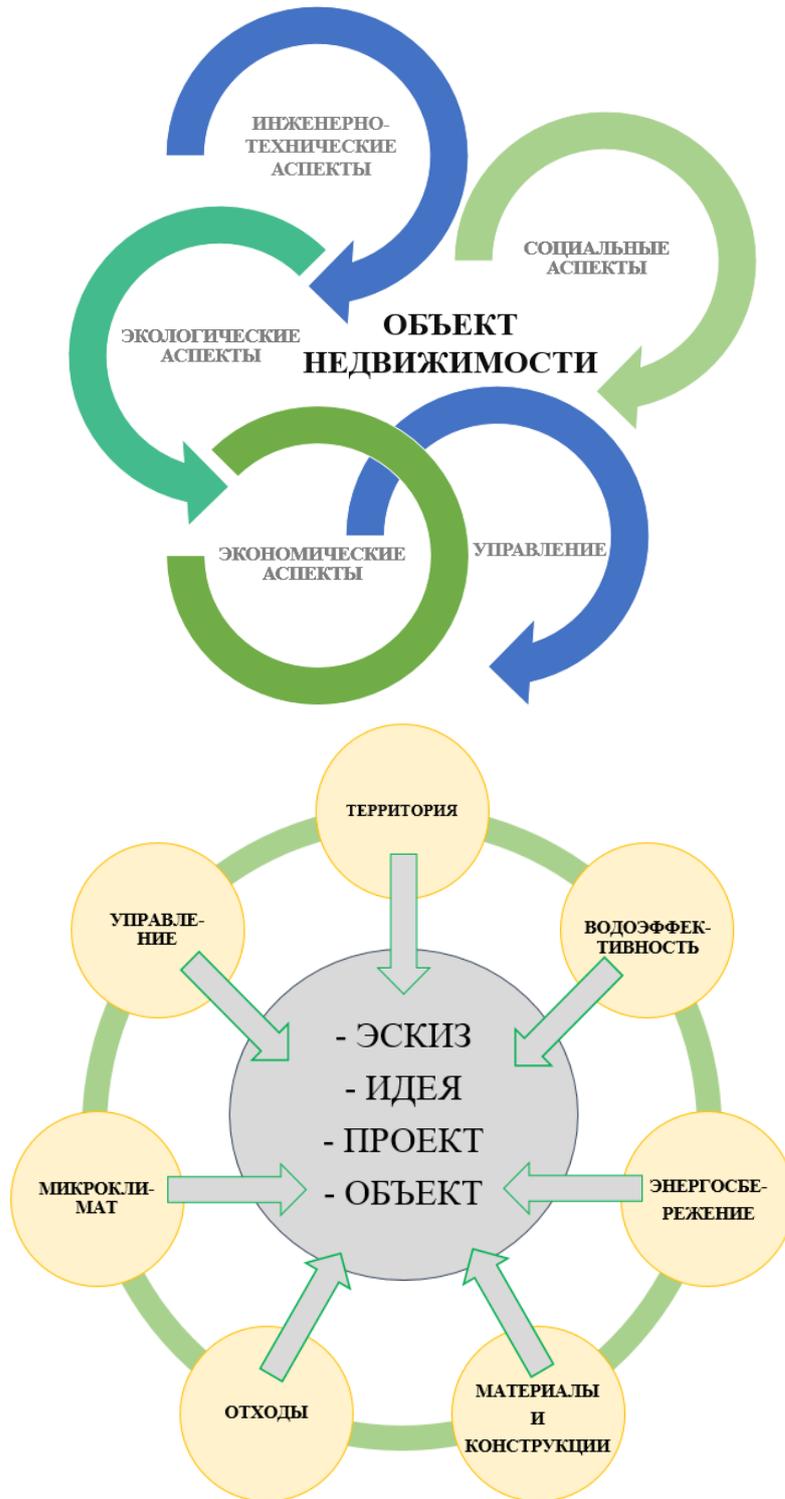


Рис. 3. Влияние требований экостандартов на объект сертифицирования

Другие исследователи считают, что «инновационные технологии требуют новой парадигмы понимания инновационных инженерных решений уже на этапе замысла проекта» [6].

Изначально архитектор раздумывает над концепцией, постепенно утверждая идею и разрабатывая проект.

Теоретическая модель формообразования современных зданий включает:

- архитектурно-художественные факторы (историко-культурные, социально-культурные, социально-экономические, градостроительные и природно-климатические условия);
- инженерно-конструктивные факторы (объединяют конструктивные системы и методы возведения зданий, а также строительные материалы);
- социально-функциональные факторы [11].

В целом архитектурный процесс проектирования состоит из следующих этапов:

1. Подготовительный (предпроектный этап) — фаза формулирования целевой установки на проектирование теоретической модели, определение средств достижения экологичности и энергоэффективности в соответствии с конкретными условиями проведения анализа среды.
2. Этап творческого поиска — основан на экспериментальном моделировании, характерна повторяемость операций и вариантное проектирование, анализ согласно критериям оценки проектных решений.
3. Этап творческой разработки — осуществляется переход от эскиза к проекту в ходе творческой работы над углублением и развитие композиционного замысла.

Процесс создания экологически безопасного объекта сильно отличается от «обычного» проектирования, так как помимо стандартных строительных норм нужно заложить еще целый ряд экологических решений [12—15].

В первую очередь необходимо учитывать:

- мероприятия, направленные на экологизацию окружающей среды;
- выбор местоположения здания с учетом климатических особенностей;
- выбор местоположения здания на участке с учетом ландшафта и окружения;
- учет взаимосвязи климатических факторов и архитектуры;
- принципы природоинтегрированной архитектуры;
- архитектурно-композиционный принцип энергосберегающих зданий;
- выбор энергосберегающих материалов наружной облицовки зданий;
- энергосберегающее остекление, солнцезащиту и т. п.

При выборе проектных решений, технологий строительства, вариантов эксплуатации и утилизации всем участникам строительного процесса необходимо иметь единую систему критериев, которые позволят сравнить имеющиеся альтернативы и выбрать безопасное и эффективное решение [16, 17].

При анализе зарубежных и российских экостандартов изучена роль архитектора в процессе сертифицирования объектов недвижимости (табл. 2).

Определение значимости архитектора происходило путем подсчета общего количества требований в системах экосертификации относительно расположения, объемно-планировочного и композиционного решений, визуального восприятия, выбора материалов и конструкций, что непосредственно

учитывается при архитектурном проектировании, использовались следующие формулы для расчета:

$$100 \% / E_{\text{станд}} = k_n;$$

$$Mk_n + Kk_n + \text{ОП}k_n + \text{ЭР}k_n = A_E,$$

где  $E_{\text{станд}}$  — общее количество требований экологического стандарта;  $k_n$  — весомость каждого требования в процентах;  $M$  — количество требований относительно использования материалов;  $K$  — количество требований относительно конструктивных решений;  $\text{ОП}$  — количество требований по объемно-планировочным решениям;  $\text{ЭР}$  — количество требований, касательно эстетических решений.

Т а б л и ц а 2

*Роль архитектора в процессе экосертификации*

ЗАРУБЕЖНЫЕ СТАНДАРТЫ		РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ	
Роль архитектора, $A_E$ , %	Название экостандарта	Роль архитектора, $A_E$ , %	Название экостандарта
<b>ЭКОСТАНДАРТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗДАНИЙ</b>			
30,94 %	BREEAM	17,41 %	Корпоративный олимпийский зеленый стандарт
30,72 %	LEED	34,02 %	Зеленый стандарт
22,44 %	DGNB	31,12 %	САР-СПЗС «Малозэтажное строительство»
		35,75 %	САР-СПЗС «Административные здания»
		19,17 %	GREEN ZOOM «Новое строительство»
<b>ЭКОСТАНДАРТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ</b>			
27,51 %	BREEAM Communities	22,00 %	Eco Village
23,52 %	LEED ND	24,14 %	GREEN ZOOM «Комплексное и устойчивое развитие территории»
22,20 %	DGNB New urban districts		
30,28 %	CASBEE Urban Development		
14,3 %	Green Star		

Наибольшее количество требований (более 30 %) относительно архитектуры выявлено в стандартах: BREEAM, LEED, CASBEE Urban Development, Зеленый стандарт, САР-СПЗС «Малозэтажное строительство», САР-СПЗС «Административные здания».

Наименьшее количество требований (менее 20 %) относительно архитектуры выявлено в стандартах: Green Star, Корпоративный Олимпийский Зеленый Стандарт, GREEN ZOOM «Новое строительство».

В авторской концепции предлагается рассмотреть процесс экологического сертификации под другим углом — главная роль при проектировании объекта недвижимости по национальному экологическому стандарту должна принадлежать архитектору, а «технологическое оснащение» проекта должно происходить только на стадии проектной и рабочей документации (рис. 4).

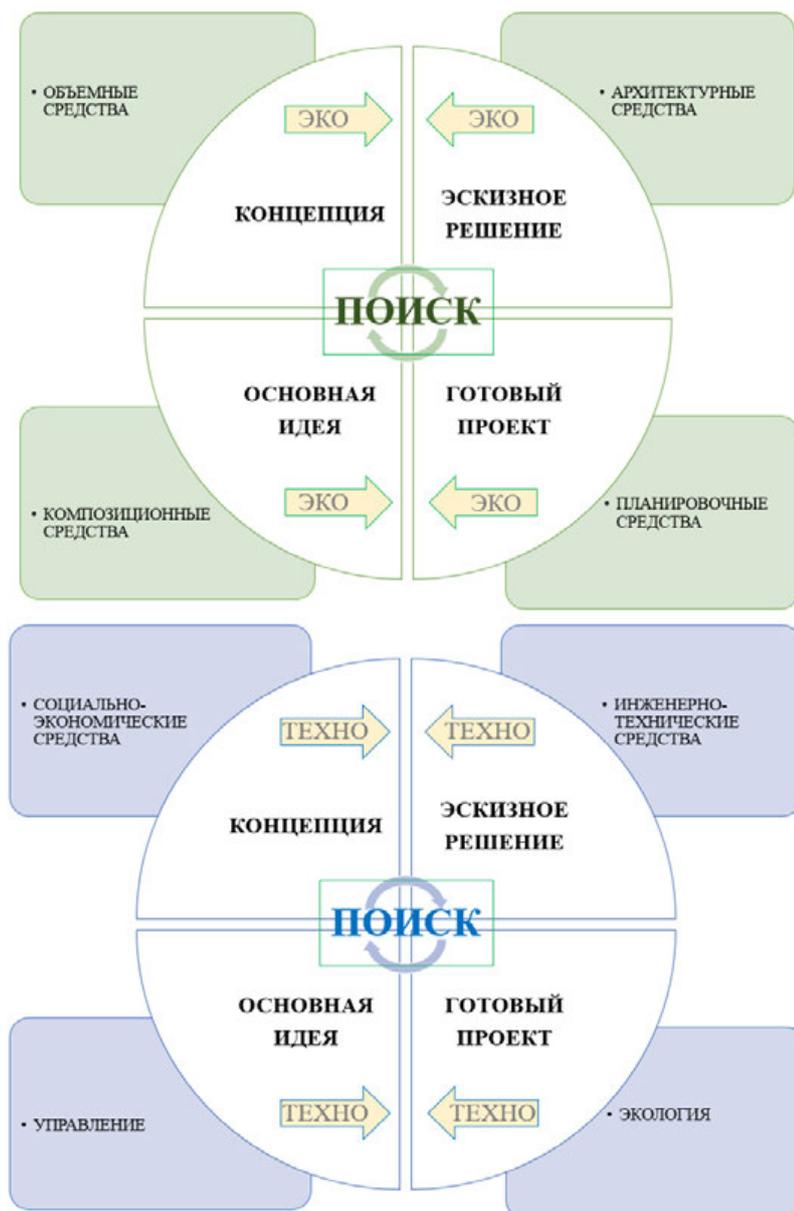


Рис. 4. Концепция архитектурной экологической оценки

При сертифицировании объектов недвижимости возможно разделение всех требований национального экостандарта на три основные группы, что значительно упростит работу специалистов:

- 1) архитектурно-планировочные и объемно-композиционные;
- 2) инженерно-технологические и «интеллектуальные»;
- 3) экономические и управленческие.

Замысел авторской экологической концепции заключается:

- 1) в систематизации критериев оценки экологической безопасности на стадии концептуального проектирования здания;

2) в необходимости формирования взаимосвязанной системы критериев с учетом этапов архитектурно-градостроительного проектирования во главе с архитектором;

3) в принятии комплексного критерия для общей оценки архитектурно-планировочной составляющей для здания, учитывающего критерии и их вес в общей оценке.

В России экосертификация в большей степени направлена на стимулирование зеленых технологий крупного бизнеса, увеличение конкурентоспособности объекта на рынке недвижимости, яркую рекламу, но, к сожалению, в меньшей степени проявляется забота о природе, здоровье человека и создании экологически безопасного архитектурного пространства.

В целом практически любое здание или сооружение можно оснастить приборами по управлению, водо- и энергосбережению. Но важно именно на стадии концептуального поиска учесть максимальное количество экологических решений и мероприятий.

Предложенная автором концепция для экологического проектирования зданий способна в будущем упростить процесс экосертификации архитектурно-градостроительных объектов для понимания специалистов-архитекторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Силка Д. Н., Коконова А. А. Анализ и особенности применения стандартов энергоэффективного экологического строительства в российских условиях // Вестник Евразийской науки. 2019 № 1. URL: <https://esj.today/PDF/60SAVN119.pdf>.
2. Tetior A. N. New educational course «Reinforced concrete and stone constructions in ecological building». Proceedings: CESB 2010 Prague. Central Europe towards Sustainable Building 'From Theory to Practice'. 2010. Pp. 1—4.
3. Installing local recirculation air diffusers during deep renovation reduces energy consumption of ventilation systems / Y. A., Tabunshchikov, M. M. Brodach, V. E. Shkarpet, K. V. Kochariantc, D. V. Kapko // Energy Procedia Ser. «SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 2016», 2016. Pp. 266—276.
4. Tabunshchikov Y. A., Drozdov V. A., Matrosov Y. A. The main trends in energy saving in buildings — theory and practice in the U.S.S.R // Energy and Buildings. 1989. Vol. 14. № 1. Pp. 43—50.
5. Ремизов А. Н., Алексеенко Е. «Зеленые» стандарты — инструмент создания устойчивой экономики // Региональная энергетика и энергосбережение. 2017. № 3. С. 102—103.
6. Ремизов А. Н., Егорьев П. О. Экоустойчивый взгляд на интеграцию инновационных технологий в строительстве // Жилищное строительство. 2019. № 5. С. 17—24.
7. Особенности применения современных экологических технологий в строительной деятельности. Системы. Методы. Технологии / В. А. Никифорова, Е. А. Видищева, А. А. Никифорова и др. Братск : Братский государственный университет. 2016. № 4(32). С. 209—218.
8. Клочкова О. Н., Сухинина Е. А., Селиванов А. А. Реконструкция исторических зданий при смене функции с использованием экостандартов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 205—217.
9. Количественная оценка экологической безопасности объектов недвижимости на основе концепции зеленого строительства / О. В. Пилипенко, Н. В. Бакаева, В. А. Гордон, А. Ю. Натарова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2017. № 4(20). С. 44—58.
10. Сухинина Е. А. Сравнительный анализ международных экологических стандартов в строительстве // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. № 1(31). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sukhinina-2014\\_1\(31\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Sukhinina-2014_1(31).pdf).
11. Рябов А. В. Архитектурное формообразование здания с использованием средств альтернативной энергетики: автореф. дис... канд. арх. М., 2012. 29 с.
12. Fernandez J. Material architecture: emergent materials for innovative buildings and ecological construction. Material Architecture: Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Construction. 2012. Pp. 1—334.

13. *Benuzh A., Fedorov S., Orenburova E.* Energy efficiency and ecological quality of buildings by process control of heat supply systems. MATEC Web of Conferences. 2018.

14. *Medovar Yu. A., Yushmanov I. O.* Changes in the ecological condition of a territory at the construction of buildings with a deep foundation under various geological conditions in Moscow. Water Resources. 2018. Vol. 45. № 2. Pp. 65—72.

15. Development of certification procedures of energy and ecological parameters of the buildings in Ukraine on the basis of practice of using tool display / V. Deshko, O. Shevchenko, A. Kopets, A. Schirru-Nowicka, O. Narasevych // Энергетика: економіка, технології, екологія. 2013. № 3(34). Pp. 27—37.

16. *Солодихин Г. М., Яжлев И. К.* Комплексный подход в «зеленом» строительстве зданий и сооружений // Приволжский научный журнал. 2014. № 3(31). С. 166—170.

17. *Вавилова Т. Я.* Отражение вопросов справедливости в системах экологической сертификации объектов недвижимости // Architecture and Modern Information Technologies. 2012. № 4(21). URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/4kvart12/vavilova/abstract.php>

© Сухина Е. А., 2020

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Сухина Е. А.* Экологическая оценка проектов архитектором // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 261—270.

*Об авторе:*

**Сухина Елена Александровна** — канд. архит., доцент кафедры архитектуры, Саратовский государственный технический университет им Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; [arx-art-lena@yandex.ru](mailto:arx-art-lena@yandex.ru)

**Elena A. Sukhinina**

**Yuri Gagarin State Technical University of Saratov**

## ENVIRONMENTAL EVALUATION OF PROJECTS BY ARCHITECT

Russian and foreign environmental standards for buildings and territories considered in the article. The process of green design study. The role of the architect in the process of environmental assessment of objects determined. Recommendations given. The concept for the environmental design of buildings developed by the author. This will simplify the process of certification of architectural and urban planning objects for specialists in the future.

**Key words:** ecological standard, certification system, sections of environmental assessment, architect, object.

*For citation:*

*Sukhinina E. A.* [Environmental evaluation of projects by architect]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 261—270.

*About author:*

**Elena A. Sukhinina** — Candidate of Architecture, Docent of Architecture Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politekhnikeskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation; [arx-art-lena@yandex.ru](mailto:arx-art-lena@yandex.ru)

УДК 72:796.5(470.45)

**С. Д. Митягин<sup>а</sup>, И. В. Шевчук<sup>б</sup>, Е. И. Мельникова<sup>б</sup>, Ю. Б. Колышев<sup>б</sup>, И. И. Соколов<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>б</sup> Волгоградский государственный технический университет

## **ВЫДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН И ИХ АНАЛИЗ В ПРИРОДНОМ ПАРКЕ «СТРИЖАМЕНТ»**

Статья посвящена анализу функциональных зон природного парка «Стрижамент» с включением в его структуру одноименного заповедника. За основу анализа природного парка предлагается принять графоаналитический метод исследования экологического каркаса. Произведена замена и модернизация устаревших природных территорий, предлагается образование новых. На основе исследования предложены схемы функционального зонирования природного парка «Стрижамент».

**Ключевые слова:** природный парк, Ставропольский край, функциональное зонирование, экология.

С развитием общества повседневная жизнь города перестала ограничиваться территорией городской застройки. Населению также стала необходима развитая рекреационная сеть для массового отдыха и климатического лечения. Многие города имеют в окрестностях прекрасные участки живописного ландшафта, однако из-за близости к городу эти участки постоянно находятся под угрозой порчи или полного уничтожения в результате застройки пригородов, строительства дорог, прокладки линий электропередач. Исследование природных зон многих регионов страны позволяет сказать, что старая сеть особо охраняемых природных территорий больше не справляется со своими основными задачами и поэтому требует частичной замены и существенного преобразования. Вследствие чего как никогда стала актуальна тема охраны ландшафта [1, 2].

Основная цель работы — обоснование создания природного парка «Стрижамент» с включением одноименного заказника и графоаналитический анализ данной территории с определением основных функциональных зон парка.

Реализация выдвинутой цели предполагает решение следующих исследовательских задач:

- 1) определение количества функциональных зон, подлежащих выделению на территории данного парка;
- 2) привязка определенных типов функциональных зон к конкретным элементам территории и формирование ее функционального зонирования;
- 3) применение выявленных зон с включением памятников природы для формирования парка;
- 4) предложение схем зонирования природного парка «Стрижамент» с включением государственного природного заказника «Стрижамент».

В Ставропольском крае на данный момент 115 особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [3].

При этом 4 из них — федерального значения: национальный парк «Кисловодский», Перкальский дендрологический парк (Пятигорская эколого-ботаническая станция), Ботанический сад имени В. В. Скрипчинского, Бота-

нический сад Пятигорского медико-фармацевтического института — филиала ФГБОУ высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» [4].

ООПТ регионального значения включают в себя 42 государственных природных заказников, 66 памятников природы, 1 дендрологический парк и 2 ООПТ других категорий [5].

При этом на территории Ставропольского края нет ни одного природного парка. Чтобы оптимизировать региональную сеть ООПТ, было предложено создание 4 парков.

Один из них — природный парк «Стрижамент». Примерная площадь составляет 24861,2 га. Расположен на западе края в двух районах — Кочубеевском и Шпаковском.

Климат — умеренно-континентальный с частыми сильными ветрами. Самые ветреные месяцы — февраль и март. Летом преимущественно сухая и жаркая погода. Каждый год на 1—2 недели поднимается температура +30 °С и выше. Зимой морозная и сухая погода. Во все сезоны возможно проникновение тропического воздуха, что приносит летом суховеи, а осенью — бабье лето. Морской тропический воздух летом приносит влажную погоду, зимой — оттепели, весной и осенью — потепление [6, 7].

На основе графоаналитического метода выделяются следующие функциональные зоны: природоохранная, рекреационная, которая подразделяется на интенсивную и экстенсивную, агрохозяйственная, буферная и околопарковая.

Природоохранная зона занимает площадь примерно в 4383,98 га, она необходима для обеспечения условий сохранения важных природных объектов [8]. Данная зона здесь представлена государственным природным заказником «Стрижамент». Заказник расположен на территории муниципального образования Стародворцовского сельсовета Кочубеевского района и муниципального образования Темнолесского сельсовета Шпаковского района. Он имеет биологический профиль и предназначен для сохранения и восстановления лесостепного природного комплекса горы Стрижамент, который имеет большой потенциал для развития экологического туризма и просвещения. Территория заказника включает гору Стрижамент и два природных памятника — «Каменный хаос» и «Буковый лес», расположенные на этой же горе.

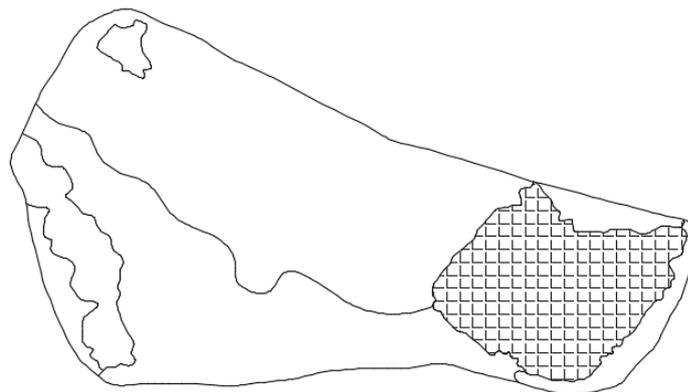
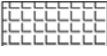


Рис. 1. Схема природоохранной зоны:  — природоохранная зона

Рекреационная зона составляет около 1718,85 га, где территория отличается удачным сочетанием ресурсов для отдыха и планировочных узлов парка [9]. Рекреационная зона разделяется на интенсивную и экстенсивную рекреацию. Зона интенсивной рекреации представлена природным памятником «Лопатинская дача», находится в северо-западной части парка и занимает территорию 227,67 га. Зона экстенсивной рекреации находится на западе края, ее площадь составляет 1491,18 га, и это территория долины реки Кубани у станицы Барсуковской — еще одного памятника природы, находящегося в парке.

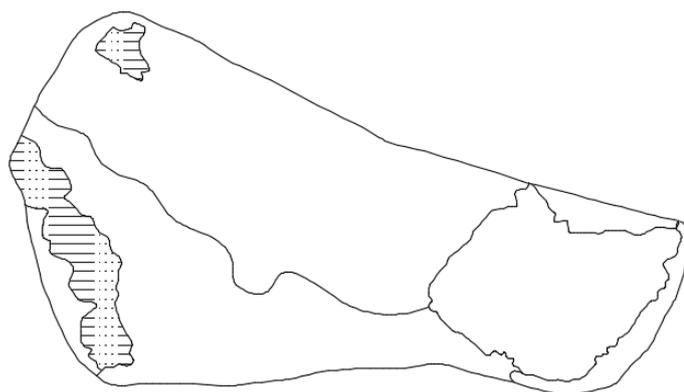


Рис. 2. Схема рекреационной зоны:  — интенсивная рекреация;  — экстенсивная рекреация

Агрохозяйственная зона расположена на севере природного парка и занимает площадь примерно в 9464,67 га, предназначена для полноценного функционирования парка и проживающего в нем населения [10]. В основном здесь выращивают пшеницу, ячмень, подсолнечник, рапс, овес, занимаются овцеводством и птицеводством, а именно разводят кур, уток, бройлеров.

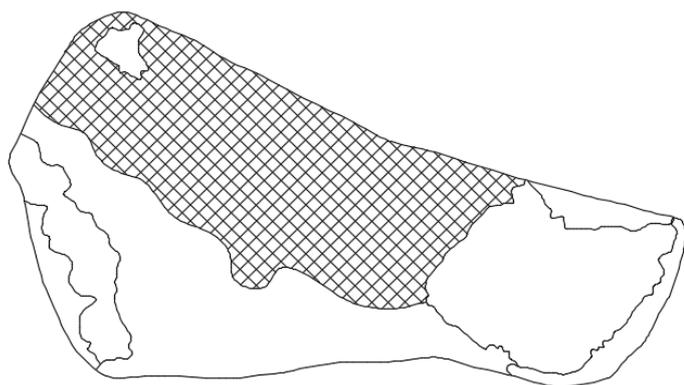


Рис. 3. Схема агрохозяйственной зоны:  — агрохозяйственная зона

Буферная зона привязывается к существующим населенным пунктам и учреждениям отдыха для приема и обслуживания туристов [11]. Ее площадь составляет 7339,29 га и находится на юге парка. Выделение зоны обусловлено наличием на данной территории Невинномысского канала, что создает благоприятные условия для рыбной ловли.



Рис. 4. Схема буферной зоны:  — буферная зона

Околопарковая зона разбита на три практически равнозначных участка. Два из них расположены на востоке парка, еще один — на юго-западе. Их общая площадь составляет примерно 1954,41 га.

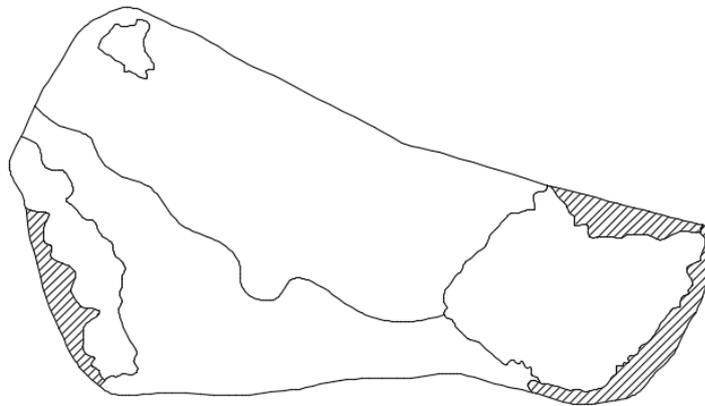


Рис. 5. Схема околопарковой зоны. Условные обозначения:  — околопарковая зона

Известно, что образование природных парков возможно только при благоприятных условиях, связанных градостроительными направлениями системы природных парков в крае. В результате такого подхода возможно формирование функциональных зон для территорий природных парков. Именно поэтому было целесообразно выделять пять функциональных зон в природном парке «Стрижамент» для перспективно-планировочных этапов развития. Их расположение обуславливается только одним признаком — естественно-

стью. Исходя из приведенных в статье схем, была составлена комбинированная схема функциональных зон природного парка «Стрижамент» [12—14].

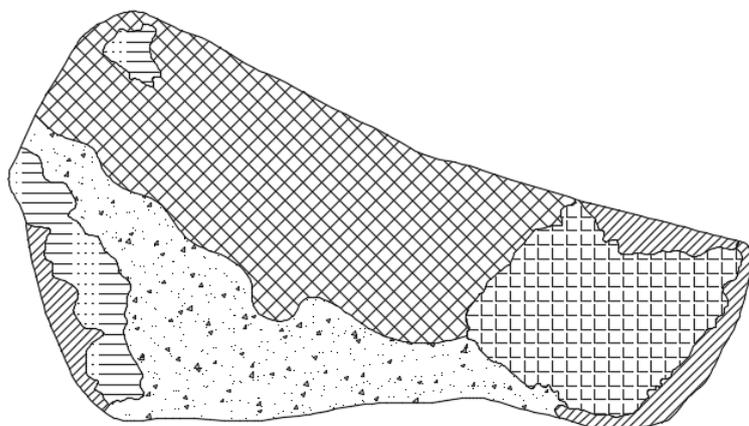


Рис. 6. Комбинированная схема природного парка «Стрижамент»:  — природоохранная зона;  — интенсивная рекреация;  — экстенсивная рекреация;  — агрохозяйственная зона;  — буферная зона;  — околосадоводческая зона

Изучение опыта планировки крупных городов показывает, сколько возникает важных градостроительных задач, связанных с планировкой природных зон. До последнего времени необходимость решения внутренней планировки города отвлекала внимание от природных зон. Их формирование в большинстве случаев проводилось без согласования с проблемами развития крупных городов. Таким образом, выпадали из сферы регулирования важные градостроительные вопросы [15, 16].

Научная новизна раскрывается в изложении материалов, которые могут заинтересовать государственные органы охраны наследия, министерства и ведомства, контролирующих и регулирующих строительную деятельность на территории городов, муниципальных районов, областей и автономий [17].

Практическая значимость раскрывается в предложении схем функционального зонирования природного парка «Стрижамент» для оптимальной работы нового ООПТ.

Работа может оказаться полезной для практикующих архитекторов, а также использоваться в учебном процессе при подготовке архитекторов, градостроителей, реставраторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурно-ландшафтная среда рекреационных территорий / И. И. Соколов, А. И. Соколов, В. Ф. Сидоренко, Е. И. Мельникова, Д. Р. Муслимова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 219—225.
2. Бэрро Х. Хрестоматия по истории Подонья и Приазовья. Кн. 1. Ростов, 1946. 170 с.
3. Водолагин М. А. Очерки истории Волгограда. М.: Наука, 1968. 448 с.
4. Гавричков А. А. Архитектурная графика России второй половины XIX — начала XX в. : автореф. дис... д-ра archit. Л., 1988. 47 с.

5. Головкин Г. М. Время и люди. Очерки истории ВолгГАСУ. Ч. 1. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. 181 с.
6. Додина Т. А. Тепикино: Пленэр 2007. Волгоград : Комитет по культуре Волгоградской области, 2008. 2 с.
7. Жилкина З. В. Рисунок, развивающий архитектурное мышление. М. : Архитектура «С», 2012. 96 с.
8. Кольшиева Д. О. Структурирование модуля церкви Троицы в Никитниках в Москве // Студенческое творчество в архитектурно-художественной культуре России : материалы I Всерос. науч.-практич. конф. студентов и магистрантов. Ростов-на-Дону : ИАрХИ ЮФУ, 2011. 238 с.
9. Кольшиева Т. Б. Знакомство старших дошкольников с историей города Волгограда по-средством проектной деятельности // Педология. URL: <https://pedologiya.ru/servisy/publik/publ?id=104>.
10. Кольшиев Ю. Б., Кольшиева Г. В. Решение проблем взаимосвязи довузовского и вузовского этапов обучения архитектурному рисунку // Новые идеи нового века — 2015 : материалы XV Междунар. науч. конф. : в 3 т. Т. 2. Хабаровск : Тихоокеан. гос. ун-т, 2015. С. 382—385.
11. Кольшиев Ю. Б. Рисунок архитектурных форм и пространств. Волгоград : Комитет по печати, 1997. 109 с.
12. Кольшиев Ю. Б. Рисунок и архитектура Волгограда / науч. ред. Л. В. Карташова // Архитектурно-художественное образовательное пространство будущего : сб. материалов Международной науч.-метод. конф. ЮФУ, 2015. С. 135.
13. Кольшиев Ю. Б., Соколов И. И. Проблемы развития территории Волго-Ахтубинской поймы // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии — 2016 : сб. материалов Международной науч.-практич. конф., 27—29 апреля 2016 г. : в 3 т. Т. 3. Тюмень : ТИУ, 2016. С. 109—114.
14. Олейников П. П. Крепости Сталинградской победы. Волгоград : ВолгГАСУ ; ООО «Сфера», 2015. 68 с.
15. Орлов Г. В. История родного края. Волгоградский регион (1589—2007). Волгоград : Издатель, 2007. 288 с.
16. Регамэ С. К., Маркус К. Б. Историко-культурный каркас России. Подход к выявлению // Градостроительство. 2013. № 1(23). С. 48.
17. Серебряная В. В. Культовое зодчество Волгоградской области. Волгоград : Издатель, 2002. 336 с.

© Митягин С. Д., Шевчук И. В., Мельникова Е. И., Кольшиев Ю. Б., Соколов И. И., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Выделение функциональных зон и их анализ в природном парке «Стрижамент» / С. Д. Митягин, И. В. Шевчук, Е. И. Мельникова, Ю. Б. Кольшиев, И. И. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 271—277.

Об авторах:

**Митягин Сергей Дмитриевич** — д-р архит., профессор кафедры градостроительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4, [spbgrado@spbgasu.ru](mailto:spbgrado@spbgasu.ru)

**Шевчук Ирина Вячеславовна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [iria.shevchuck@yandex.ru](mailto:iria.shevchuck@yandex.ru)

**Мельникова Елена Игоревна** — ассистент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [igorevna.1990@mail.ru](mailto:igorevna.1990@mail.ru)

**Кольшиев Юрий Богданович** — профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [tango7412@gmail.com](mailto:tango7412@gmail.com)

**Соколов Иван Иванович** — канд. архит., профессор, профессор кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sokolovii@mail.ru

**Sergei D. Mityagin<sup>a</sup>, Irina V. Shevchuk<sup>b</sup>, Elena I. Mel'nikova<sup>b</sup>, Yurii B. Kolyshev<sup>b</sup>, Ivan I. Sokolov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

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

## **SELECTION OF FUNCTIONAL ZONES AND THEIR ANALYSIS IN THE NATURAL PARK «STRIZHAMENT»**

The article is devoted to the analysis of functional zones of the natural Park «Strizhament» with the inclusion of the reserve of the same name in its structure. The basis of the analysis of the natural Park are encouraged to take a graphic-analytical method of study of the environmental frame. Replacement and modernization of outdated natural territories is made, formation of new is offered. On the basis of research schemes of functional zoning of natural Park «Strizhament» are offered.

**Key words:** natural Park, Stavropol territory, functional zoning, «pedestal», ecology, specially protected natural areas (PAS).

### *For citation:*

Mityagin S. D., Shevchuk I. V., Mel'nikova E. I., Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I. [Selection of functional zones and their analysis in the natural park "Strizhament"]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 271—277.

### *About authors:*

**Sergei D. Mityagin** — Doctor of Architecture, Professor of Town Planning Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, 2-ya Krasnoarmeiskaya street, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation, [spbgrado@spbgasu.ru](mailto:spbgrado@spbgasu.ru)

**Irina V. Shevchuk** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [iria.shevchuck@yandex.ru](mailto:iria.shevchuck@yandex.ru)

**Elena I. Mel'nikova** — Assistant of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [igorevna.1990@mail.ru](mailto:igorevna.1990@mail.ru)

**Yurii B. Kolyshev** — Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [tango7412@gmail.com](mailto:tango7412@gmail.com)

**Ivan I. Sokolov** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Architecture of Buildings and Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [sokolovii@mail.ru](mailto:sokolovii@mail.ru)

УДК 728.1

**А. А. Плешивцев**

*Государственный университет по землеустройству*

**АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЕМОВ НЕТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ  
ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КАЧЕСТВА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой возможности и целесообразности применения приемов нетрадиционной технологичности для восстановления функционального качества объектов строительства жилого назначения, малой и средней этажности. Проведен анализ особенностей применения нетрадиционных приемов для разработки и практической реализации архитектурно-тектонического преобразования первоначальных композиционных решений объектов жилого фонда, находящихся в эксплуатации.

**Ключевые слова:** строительные объекты малой и средней этажности, архитектурные системы, композиционные решения, аспекты технологичности, особенности приемов традиционной и нетрадиционной технологичности, функциональное качество жилых зданий.

Жилые образования (комплексы, районы, кварталы, отдельные объекты) являются очевидным результатом искусственной организации доступной для застройки территории городской среды. Функциональное качество искусственной (жилой) среды в значительной степени определяется уровнем технического и морального состояния объектов строительства жилого назначения: домов, зданий, комплексов, районов (микрорайонов) [1—3].

Рассматриваемые структурные объекты городской среды подвергаются в процессе своего функционирования (эксплуатации) определенным природно-климатическим, технико-технологическим и социально-культурным воздействиям, которые приводят к определенной потере первоначального (установленного) функционального качества. Такая потеря качества выражается в частичной или полной утрате способности архитектурных систем жилого образования по обеспечению условий комфортной и безопасной жизнедеятельности групп населения или отдельных лиц, проживающих на рассматриваемой территории [4—6].

В свою очередь, снижение функционального качества архитектурных систем (объектов жилого назначения) способно привести к увеличению экологической и социально-экономической нагрузки на другие элементы городской территории (искусственной среды) и (или) окружающей природный ландшафт (естественную среду). Таким образом, восстановление утраченного в процессе функционирования (эксплуатации) качества строительных объектов жилого назначения является комплексной задачей, решение которой способствует, с одной стороны, обеспечению установленного уровня показателей жизнедеятельности, а с другой стороны — способствует рациональному развитию участков городской территории посредством застройки элементами искусственной среды или организации открытого (общественного) пространства.

Под понятием «восстановление функционального качества» в данной работе подразумевается такой вид архитектурной (строительной) деятельности, который направлен на восстановление утраченного качества архитектурных систем объектов жилого фонда (дома, здания, комплекса), вызванного не-

удовлетворительным или непригодным для жизнедеятельности техническим (физическим) или моральным (художественно-эстетическим) состоянием.

Современное понимание качества и эффективности функционирования жилого пространства (в формате отдельного объекта или территориального архитектурного ансамбля в составе городской среды) исходит из свойства комплексности, объединяющей проблемы структурно-функционального, экономического и социального характера.

Ключевой особенностью (и главной целью) восстановления функционального качества объектов жилого фонда является реализация представлений о значении приоритетов комфорта и безопасности жизнедеятельности в условиях развития или модификации жилой среды посредством соответствующих архитектурных и конструктивных, технологических решений и художественно-эстетических приемов.

Архитектурная система жилого здания характеризуется свойствами внешних и внутренних объемно-пластических и пространственных элементов (форм), которые и определяют стиль, тектонику, архитектурные конструкции и отображают отношения человека к миру в данный исторический период. В ходе эволюции общественного развития формы жизнедеятельности соотносятся с моделями организации искусственного функционально обусловленного пространства как со стилевыми и тектоническими стереотипами архитектурного творчества. Каждая историческая эпоха порождает свои культурные стереотипы мышления и социального видения архитектурного окружения человека и процессов его жизнедеятельности. Формирование пространственных стереотипов соотношений функции, формы и содержания жилого здания характеризуется как информационная насыщенность архитектурной формы и соответствующей объемно-пространственной композиции [7—9].

Жилые образования характеризуются определенным архитектурно-планировочным решением, общей пространственной композицией и наличием системы обслуживания и обеспечения процессов жизнедеятельности в условиях динамичного взаимодействия с окружающим (внешним) пространством.

Разнообразие типологических форматов жилых образований является прямым следствием национальных особенностей населения, условий их труда, культуры, природно-климатических условий, географического расположения, общественно-экономического состояния.

Формирование и поддержание функционального качества жилого образования (в рамках периода эксплуатации жизненного цикла) в значительной степени определяется первоначальными композиционными решениями. Композиция архитектурных систем жилых зданий представляет сложный, системный и творческий процесс рационального взаимодействия многочисленных связей целостной структуры, которая отображает особенности тектонического, технологического и художественно-эстетического сопровождения целей и способов решения задач обеспечения процессов жизнедеятельности и содержания внутреннего пространства [10, 11].

Традиционное представление особенностей формирования функционального качества архитектурных систем (архитектурных образов жилых зданий) посредством организации способов взаимодействия функциональной, конструктивной и эстетической составляющих архитектурной композиции практически не затрагивает технические (техничко-технологические), ор-

ганизационные, управленческие, экономические и иные межсистемные связи, взаимодействующие и прямо способствующие достижению конечного результата архитектурной (строительной) деятельности [3, 12, 13].

Архитектурную систему строительного объекта жилого назначения можно представить как объект целевого проектирования и управления показателями функционального качества, которые соответствуют определенному этапу его жизненного цикла. Осмысленное продление продолжительности эксплуатации (одного из обязательных периодов жизненного цикла) и (или) повышение показателей функционального качества является таким отображением поддержки материальной и (или) нематериальной ценности жилого здания, которое не предусмотрено первоначальным проектным решением.

Значительное количество объектов жилого функционального назначения прошедших исторических эпох (доиндустриального, индустриального и начала постиндустриального периодов) сохранили к настоящему времени свои стилевые, конструктивные и художественно-эстетические особенности, но нуждаются к адаптации к современным условиям состояния и повышению уровня функционального качества [1, 14, 15].

На рисунке 1 представлена характеристика исходного состояния и проектных решений (с использованием приемов нетрадиционной технологичности и изменения первоначальной пространственной композиции) по повышению функционального качества строительного объекта жилого назначения [16].



Рис. 1. Повышение функционального качества (реконструкция) объекта жилого назначения средней этажности, город Leinefelde, Германия: *а* — исходное состояние; *б* — реализация проектных решений

Комплекс мероприятий по реновации предусматривает изменение первоначальных композиционных решений для формирования новой объемно-планировочной структуры и представления архитектурного образа без изменения первоначальной (жилой) функции. Результатом применения новых композиционных и структурных построений архитектурных форм является организация иной (по отношению к первоначальной) художественно-эстетической, тектонической и композиционной направленности организации жизненного пространства.

В рамках системного подхода по реконструкции архитектурной системы жилого объекта (см. рис. 1) осуществлено качественное изменение условий обеспечения комфорта и безопасности процессов жизнедеятельности посредством:

- устранения зафиксированных дефектов и повреждений;
- устройства конструктивных элементов, обеспечивающих установленные параметры энергоэффективности;

- рационального размещения внутренних инженерных систем и технологического оборудования;
- ремонта и восстановления функционального качества внешних инженерных сетей.

Формирование дефектов и повреждений в материалах, конструкциях, оборудовании является бесспорной причиной снижения показателей функционального качества жилого объекта за границу области допустимых условий технического состояния и безопасности жизнедеятельности. Развитие деградиционных процессов, вызванных формированием дефектов и повреждений, а также отсутствие или неэффективное применение мероприятий по восстановлению функционального качества конструктивных элементов (архитектурных систем) жилых зданий приводит к недопустимому характеру рисков и опасностей эксплуатации.

На рисунках 2, 3 представлены проектные решения по повышению функционального качества (реконструкции) строительных объектов жилого назначения малой и средней этажности<sup>1</sup>.

Для обоих рассмотренных случаев является характерным присутствие значительного количества дефектов и повреждений, которые привели к потере его функционального качества.

Взаимосвязь между составляющими композиционных решений, направленных на повышение функционального качества жилых зданий (см. рис. 1—3), и способами их практической реализации характеризуется комплексным свойством технологичности. Под технологичностью архитектурного образа (или технологичностью формирования целостной композиции жилого здания малой и средней этажности) подразумевается техническая имплементация параметров функционально-технологических процессов (объемно-планировочных решений), конструктивных и художественных решений посредством рациональных технологических приемов (для всех этапов строительного производства), с учетом особенностей состояния и доступности материальных и нематериальных ресурсов [17—19].

В традиционном представлении единства и целостности композиционного решения жилого здания категорию (свойство) технологичности архитектурной системы не принято рассматривать в качестве равновесного структурного элемента (по отношению к ее функциональной, конструктивной и художественно-эстетической составляющим композиции).

Несмотря на большое разнообразие альтернативных технологических приемов (позволяющих добиться установленных показателей функционального качества строительной продукции) ни одна из известных строительных технологий не может быть признана лучшей по всем возможным критериям (технико-экономическим показателям). В значительном большинстве случаев целевые показатели технологичности формирования архитектурных систем жилых образований приводят к корреляционному взаимодействию с показателями эффективности материальной, функциональной или художественной составляющих.

<sup>1</sup> Virtual Reality Tour of Eklephant, Nepal. URL: <https://www.buildchange.org/>.

Before & After — A Dramatic Transformation For A Building In Thailand. URL: [http://www.contemporist.com/before-after-a-dramatic-transformation-for-a-building-in-thailand/contemporary-architecture\\_030915\\_04/](http://www.contemporist.com/before-after-a-dramatic-transformation-for-a-building-in-thailand/contemporary-architecture_030915_04/).



Рис. 2. Повышение функционального качества (реконструкция) объекта жилого назначения малой этажности, Непал<sup>2</sup>: *а* — пространственная композиция объектов малоэтажной жилой застройки; *б* — расположение малоэтажного объекта, характеризующегося потерей функционального качества; *в* — оценка технического состояния: внешнее пространство; *г* — оценка технического состояния: внутреннее пространство; *д* — проектные предложения: архитектурная система; *е* — проектные предложения: конструктивные элементы и материалы; *ж* — технологические приемы, направленные на повышение функционального качества жилого здания: начальный этап; *з* — технологические приемы, направленные на повышение функционального качества жилого здания: конечный этап

<sup>2</sup> Virtual Reality Tour of Eklephant, Nepal. URL: <https://www.buildchange.org/>.



Рис. 3. Повышение функционального качества (реконструкция) объекта жилого назначения малой этажности, город Khon Kaen, Таиланд<sup>3</sup>: *a* — первоначальное состояние; *б* — проектные решения

Традиционные технологические приемы формирования функционального качества архитектурных объектов жилого назначения характеризуют накопленный материализованный потенциал технического, интеллектуального развития строительной отрасли, отображающий достигнутые результаты и способы перехода в новое качественное состояние.

Целесообразность развития области и масштабов применения традиционных приемов технологичности для повышения функционального качества объектов жилого назначения, малой и средней этажности определяется многочисленными и разнообразными факторами: социальными, экономическими, психологическими, культурно-историческими.

Технологичность архитектурного образа представляет собой совокупность (систему) технологических и организационных факторов, результат взаимодействия которых приводит к изменению состояния (включая повышение функционального качества и условий жизнедеятельности) конкретного строительного объекта жилого назначения и состояния общего архитектурного пространства (рис. 4).

Приемы нетрадиционной технологичности являются конкурентными (по отношению к традиционным видам) средствами инновационной организации архитектурного пространства. Целесообразность и рациональная область применения определяется на основе целостной, научно обоснованной методики, включающей положения единой концепции и частных принципов обеспечения функционального качества объектов жилого назначения [15, 20, 21].

Ценность и определенная безальтернативность применения традиционных технологических приемов, предназначенных для формирования некоторых видов архитектурных систем (характерных для некоторого исторического периода развития), чем далее, тем более подвергаются критическому и функционально-технологическому переосмыслению.

<sup>3</sup> Before & After — A Dramatic Transformation For A Building In Thailand. URL: [http://www.contemporist.com/before-after-a-dramatic-transformation-for-a-building-in-thailand/contemporary-architecture\\_030915\\_04/](http://www.contemporist.com/before-after-a-dramatic-transformation-for-a-building-in-thailand/contemporary-architecture_030915_04/).



Рис. 4. Взаимодействие факторов и результатов технологичности на формирование функционального качества архитектурного образа

Объективные и субъективные предпосылки, определяющие направления развития архитектурной науки и строительного дела, непрерывно формируют условия снижения апологии и масштабов применения традиционных технологических приемов, ориентированных на формирование традиционных видов архитектурных систем. Можно предположить, что причиной постепенного отказа от применения традиционных технологических приемов в пользу инновационных материалов, конструкций и технологий способствуют требования роста потребительского (функционального) качества строительной продукции при одновременном снижении показателей стоимости и трудоемкости.

Возможность применения нетрадиционных технологических приемов и принципов проектирования объектов архитектурного пространства сопровождается (научно-техническим прогрессом) развитием строительного материаловедения, систем безопасности и обеспечения процессов жизнедеятельности, совершенствованием организационно-технологических методов и средств обеспечения строительного производства, формированием новых, концептуальных средств и приемов архитектурно-конструктивного проектирования.

Применение традиционных и нетрадиционных технологических приемов возможно осуществлять (в теоретическом и практическом аспектах архитектурной деятельности) практически для всех периодов жизненного цикла

(проектирования, изготовления, возведения, эксплуатации) строительной продукции (архитектурных объектов) жилого назначения. Наличие нетрадиционных технологических приемов не отрицает возможности проектирования и возведения традиционных архитектурных систем (с применением традиционных, главным образом природных строительных материалов), но позволяет значительно повысить устойчивость жилых зданий природно-климатическим воздействиям, уровень функционального качества, комфорта и безопасности внутреннего пространства, обеспечить возможности современной информационно-коммуникационной среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Малинина Т. Г.* Массовое жилище как объект творчества. М. : БуксАрт, 2015. 326 с.
2. Архитектурные конструкции и теория конструирования: малоэтажные жилые здания / Е. В. Сысоева, С. И. Трушин, Е. Э. Кузнецова, В. П. Коновалов. М. : Инфра-М, 2018. 280 с.
3. *Шубенков М. В.* Структура архитектурного пространства : дисс... д-ра архитектуры. М., 2006. 335 с.
4. *Жидкова С. В.* Разработка универсальной индустриальной строительной системы реконструкции жилого фонда : дисс... канд. техн. наук. М., 2005. 172 с.
5. *Riley M., Cotgrave A.* Construction Technology 1: House Construction. London : Red Globe Press. 2018. 404 p.
6. *Хадави Могаддам М.* Взаимосвязь градостроительных, архитектурных решений с выбором конструкций, материалов, технологий и организации строительных работ // Системные технологии. 2018. № 27. С. 98—105.
7. *Янковская Ю. С.* Образ и морфология архитектурного объекта : дисс... д-ра архитектуры. М., 2006. 266 с.
8. *Mark W. Maier, Eberhardt Rechtin.* The Art of Systems Architecting. New York : CRC Press, 2009. 477 p.
9. *Michael Fazio, Marian Moffett, Lawrence Wodehouse.* A World History of Architecture. New York : McGraw-Hill Education, 2008. 608 p.
10. *Бирюкова Е. Е.* Эстетика формы и содержание архитектурного пространства : дисс... канд. философских наук. Владимир, 2003. 249 с.
11. *Yonca Huroglu.* The Tectonics of Structural Systems. London : Routledge. Taylor & Francis Group, 2015. 250 p.
12. *Matthew A. Cohen, Maarten Delbeke.* Proportional Systems in the History of Architecture: A Critical Reconsideration. London : Leiden University Press. Critical edition, 2018. 432 p.
13. *Susan Stewart.* Architecture reviewing theory // Architectural Theory Review. 2013. Vol. 8. № 2. Pp. 186—200.
14. *Калинин П. А.* Организационное и инженерно-технологическое обеспечение качества строительной продукции жилых зданий : дисс... канд. техн. наук. М., 2002. 214 с.
15. *Белов А. В.* Задачи обеспечения качества строительства // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2012. № 4. С. 97—99.
16. *Stefan Forster Architekten.* Regeneration East. URL: <https://www.sfa.de/regeneration-east/haus-04-en>.
17. *Кузнецова Е. В.* Модели и методы оценки технологичности проектов объектов строительства : дисс... канд. техн. наук. СПб., 2000. 167 с.
18. *Лебедев В. М., Ломтев И. А.* Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. 2017. № 11. С. 80—83.
19. *Ajla Aksamija.* Integrating Innovation in Architecture: Design, Methods and Technology for Progressive Practice and Research. London : Academy Press, 2017. 264 p.
20. *Mark W. Maier, Eberhardt Rechtin.* The Art of Systems Architecting. New-York : CRC Press, 2009. 477 p.
21. *Романенко Е. Ю., Рабиченко С. А.* Инновационные процессы в строительстве // Вестник Московского государственного областного университета. 2018. № 2. С. 172—179.

© Плешивцев А. А., 2020

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Плешивцев А. А. Аспекты применения приемов нетрадиционной технологичности для восстановления функционального качества строительных объектов жилого назначения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 278—286.*

*Об авторах:*

**Плешивцев Александр Александрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры основ архитектуры, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, 105064, г. Москва, ул. Казакова, 15; [perspektiva-aa@mail.ru](mailto:perspektiva-aa@mail.ru)

**Alexander A. Pleshivtsev**

**State University of Land Use Planning**

### **ASPECTS APPLICATION OF METHODS WITH NON-TRADITIONAL TECHNOLOGY FOR RESTORATION AND IMPROVEMENT FUNCTIONAL QUALITY AT OBJECTS RESIDENTIAL PURPOSE**

In this article addresses issues to assessing the feasibility and appropriateness at applying non-traditional manufacturability techniques to restore the functional quality in residential construction projects, small and medium stories. The analysis of the features at use non-traditional methods for development and practical implementation architectural and tectonic transformation of the initial compositional solutions in housing facilities are related.

**Key words:** small and medium-rise construction objects, architectural systems, compositional solutions, technological aspects, traditional and non-traditional technological features, functional quality of residential buildings.

*For citation:*

Pleshivtsev A. A. [Aspects application of methods with non-traditional technology for restoration and improvement functional quality at objects residential purpose]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 278—286.

*About authors:*

**Alexander A. Pleshivtsev** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Fundamentals of Architecture Department, State University of Land Use Planning. 15, Kazakova st., Moscow, 105064, Russian Federation; [perspektiva-aa@mail.ru](mailto:perspektiva-aa@mail.ru)

УДК 711.58+712.25

**О. А. Растяпина**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ БЛАГОУСТРОЙСТВА ДВОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА**

Различные элементы благоустройства дворового пространства способствуют социально-культурному общению, разнообразию досуга жителей двора, а также оказывают благоприятное воздействие на психоэмоциональное состояние горожан. Наличие элементов благоустройства во дворе формирует качество дворового пространства. Для оценки уровня качества автором работы определены критерии значимости показателей благоустройства дворового пространства. На основании представленных факторов возможно определить необходимые направления для повышения уровня благоустройства дворового пространства.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** благоустройство дворовой территории, элементы благоустройства дворовых территорий, критерии оценки дворового пространства, показатели благоустройства дворового пространства, коэффициенты значимости показателей благоустройства дворового пространства, квалиметрия.

Вопрос формирования благоустройства дворовых территорий достаточно актуален для современных условий и находит отражение во многих исследовательских работах. Большинство дворовых территорий находятся в ненадлежащем состоянии в силу разных причин. Это является проблемой для многих горожан и оказывает негативное влияние на состояние человека. В качестве основных проблем благоустройства дворового пространства можно отметить:

- отсутствие четких границ между общегородским и дворовым пространством;
- отсутствие парковочных мест (зон), несоответствие их количества современным стандартам и потребностям;
- низкая приспособленность для маломобильных групп населения;
- низкий уровень безопасности;
- низкий уровень рекреационной инфраструктуры.

Необходимо также отметить следующие недостатки благоустройства дворовых территорий: отсутствие площадок для отдыха, озеленение не всегда находится в надлежащем состоянии, агрессивный визуальный облик застройки [1—4]. Длинные, высокие дома, с одной стороны, формируют безопасное пространство, ограничивая территорию от городской среды, а с другой — оказывают воздействие на психоэмоциональное состояние жителей [5]. Такое воздействие может быть рассмотрено как положительное, так и отрицательное. Положительное влияние заключается как раз в формировании состояния защищенности у человека от факторов внедворовой городской среды: будь то транспорт, общественные пространства с большим скоплением людей и другие подобные факторы городской среды. Негативное воздействие заключается в визуальном восприятии домов, ограничивающих двор и другие элементы, нерационально располагаемые в пределах двора [6]. Соответственно, для снижения негативного воздействия на психоэмоциональное состояние чело-

века и формирования благоприятного восприятия застройки человеком необходимо стремиться к обеспечению безопасного внутриворотового пространства, оптимально сочетающегося с внешней средой [7, 8].

С учетом отмеченных недостатков дворовых территорий и их негативно-го воздействия на человека необходимо стремиться к формированию благоприятной среды в пределах дворовой территории. Более детально характеризовать территорию двора возможно на основании учета критериев, характеризующих степень благоустройства, и использования оценки данных критериев. Благоустройство дворовых территорий — это качественная характеристика, которую сложно оценить. Оценка благоустройства дворового пространства определяется множеством критериев, факторов, которые по-разному воспринимаются горожанами [9], в этом заключается субъективность оценки. Согласно информации, представленной в работе А. А. Кулькова, А. А. Рогожниковой [1], основными критериями комфортного дворового пространства, по мнению горожан, являются безопасность, экологичность, пешеходная доступность места труда.

По данным КБ «Стрелка» [1], качество дворового пространства определяется следующими факторами: близостью к природе (в этом заключается экологичность дворового пространства), социальным благополучием территории, возможностью уединения, отсутствием отвлекающих факторов внешнего воздействия, пешеходной доступностью до рабочих мест и других необходимых объектов социального обслуживания, а также развитой инфраструктурой.

Таким образом, структурировав полученные результаты исследования, можно отметить, что для жителей при оценке качества благоустройства дворового пространства наиболее важны критерии: экологические, определяющиеся близостью к природе; необходимость парковочной зоны; отсутствие факторов, которые могут отвлекать, мешать сосредоточиться; безопасность — возможность отпускать гулять детей самостоятельно; социальная безопасность — знакомство с окружающей инфраструктурой; пешеходная доступность до мест труда; социальная и досуговая инфраструктура. Наличие социальной и досуговой инфраструктуры оценивается наличием магазинов, пунктов бытового обслуживания, детских учреждений. Наличие стоянок внутри двора и парковочных карманов способствует формированию благоприятной обстановки внутриворотового пространства. С учетом тенденций развития экотранспорта необходимо формирование специализированных мест для подзарядки электромобилей.

Все отмеченные недостатки современного состояния благоустройства дворовых территорий свидетельствуют о необходимости введения критериев оценки степени благоустройства, позволяющих не только определить недостатки благоустройства дворов, но и подобрать необходимые мероприятия, способствующие повышению уровня благоустройства дворовых территорий.

Основной целью исследования является определение показателей оценки степени благоустройства дворовой территории. Для достижения поставленной цели были определены задачи исследования:

1) определение основных факторов, характеризующих уровень благоустройства дворовых территорий;

2) учет мнения населения относительно благоустройства дворовых территорий;

3) определение критериев значимости, факторов благоустройства дворовых территорий.

Таким образом, объектом исследования являлись дворовые территории города Волгограда, предметом исследования — факторы благоустройства дворовых территорий.

При разработке проектов застройки, как правило, разрабатываются планы благоустройства. Но в процессе эксплуатации жилого фонда, а также в результате урбанизации имеющиеся элементы благоустройства приходят в ненадлежащее состояние в силу различных причин. Это может быть естественный физический износ, отсутствие надлежащего ухода за имеющимися элементами благоустройства, увеличение плотности жителей и т. п. Согласно Правилам благоустройства территории городского округа Волгоград (с изменениями на 23 мая 2018 года), утвержденным 21.10.2015 № 34/1091, элементами благоустройства являются: озелененные территории, игровые площадки для детей, площадки для отдыха, спортивные площадки, площадки для временной стоянки транспортных средств, площадки для хозяйственных целей, площадки, оборудованные для сбора коммунальных отходов.

С целью проведения исследования и разработки показателей оценки благоустройства дворового пространства как качественной характеристики необходимо определить основные группы факторов, которые отражают социальное благополучие территории, безопасность и доступность.

Опираясь на установленные элементы благоустройства, а также результаты проведенного теоретического анализа [10, 11], были определены три основные группы факторов: многофункциональные, эстетические и планировочные. Эти группы факторов были максимально охарактеризованы показателями. В результате определено 40 показателей, которые наиболее полно отражают благоустройство дворовой территории. Для проведения дальнейших расчетов была определена иерархия данных показателей, представленная в виде дерева свойств (рис. 1).

Многофункциональные факторы объединяют в себе показатели, характеризующие экологические и технические показатели. В эту группу факторов входят показатели:

наличие озеленения дворовых территорий,

наличие парковочных мест,

использование энергоэффективных технологий в благоустройстве дворовых территорий.

Озеленение дворовых территорий является универсальным средством, позволяющим не только улучшить микроклиматические особенности территории двора [12], но и создать благоприятный архитектурно-художественный образ территории [13, 14]. Соответственно, озеленение дворовых территорий может характеризоваться количеством, состоянием и разнообразием дендрологического вида.

В группу планировочных факторов входят:

масштабность восприятия застройки [15],

ограничение въезда автотранспорта на дворовую территорию (за исключением спецтранспорта),

относительная замкнутость дворового пространства;  
наличие пешеходных дорожек.

Последний показатель можно более детально характеризовать наличием покрытия, точнее видом покрытия, которое оценивается надежностью и удобством перемещения по дорожкам, то есть целесообразность трассирования пешеходных дорожек в рамках дворового пространства.

Эстетические факторы характеризуют наличие элементов благоустройства дворовых территорий. К элементам благоустройства относятся:

дворовые площадки;  
малые архитектурные формы;  
цветовое оформление застройки.

Площадки, размещаемые в пределах дворового пространства, предназначены для отдыха населения и подразделяются на виды в зависимости от функционального предназначения. Помимо этого, для площадок также важно удобство размещения, состояние и размещение на них оборудования, отвечающего требованиям безопасности эксплуатации, размер этих площадок. Для спортивных площадок важна возможность трансформации, то есть удобство всесезонной эксплуатации. Согласно общепринятой классификации все малые архитектурные формы подразделяются на декоративные и утилитарные. При размещении в пределах дворовой территории необходимо учитывать их состояние, то есть безопасность эксплуатации и разнообразие размещаемых малых архитектурных форм.

Экспертам, которыми являлись жители города Волгограда различного возраста, было предложено оценить важность указанного показателя при определении степени благоустройства дворовых территорий. Для получения более достоверного результата среднего значения фактора опрос проводился среди жителей различных районов города и проживающих в разных классах комфортности жилища (бизнес-класс, эконом-класс, муниципальное жилище). Оценка проводилась по 100-балльной шкале, где «0» означало, что показатель не важен, а «100» — очень важен при благоустройстве дворового пространства. На основании полученных результатов по каждому показателю было рассчитано среднее значение. Данное значение отражает значимость показателя для горожан при определении уровня благоустройства дворовой территории.

Так, из показателей первого уровня наиболее важными для горожан являются многофункциональные показатели (средний балл важности равен 86 %): наличие озеленения, парковок, использование энергоэффективных технологий. При рассмотрении данной группы показателей для горожан важно использование энергоэффективных технологий (средний балл важности равен 90 %). В группе планировочных показателей для горожан наиболее значима замкнутость дворового пространства (средний балл важности равен 74 %). В группе эстетических показателей в качестве элемента благоустройства двора для горожан наиболее важно наличие площадок для отдыха (средний балл важности равен 80 %).

Для определения критерия важности всех факторов, характеризующих благоустройство дворовых территорий, использован метод квалиметрии. Данный метод позволяет наиболее точно оценить количественно-качественные характеристики. Как было отмечено ранее, благоустройство

дворовой территории — качественная характеристика самого дворового пространства, которая оказывает влияние как на стоимость объекта недвижимости, так и на восприятие горожанами дворового пространства.

Для расчета весомости показателя необходимо составить дерево свойств благоустройства дворовых территорий. Формирование дерева свойств позволит ранжировать по взаимозависимости показатели, характеризующие качество дворового пространства. Помимо этого, введение уровней позволит исключить повторное использование (дублирование) аналогичных показателей благоустройства дворовой территории. С этой целью введены уровни определяемых показателей. Всего определено четыре уровня (рис. 1). Первый уровень показателей предполагает выделение трех общих групп, характеризующих благоустройство дворовой территории, — многофункциональные, планировочные и эстетические показатели. Далее каждая группа рассматривается на втором уровне показателей. Таким образом, определены показатели второго уровня, более точно характеризующие выделенные группы. Показатели второго уровня охарактеризованы более детально показателями третьего уровня. Для более точной характеристики показателей эстетической группы составлен четвертый уровень показателей. Выделение подобных уровней позволяет дать более точное описание показателя и, соответственно, получить более точную оценку при расчете коэффициента весомости показателя.

Оценка показателей проводится по полученному критерию важности, определяемому по формуле (1). Данный показатель характеризует весомость каждого фактора (элемента благоустройства) среди других факторов благоустройства дворового пространства.

Коэффициент весомости (значимости) показателя рассчитывается по формуле:

$$K_i = \Pi_i / (\sum \Pi_i), \quad (1)$$

где  $\Pi_i$  — среднее значение  $i$ -го показателя, определенное по мнениям экспертов;  $n$  — количество показателей в рассматриваемой совокупности факторов.

Определенные значения коэффициента весомости позволяют определить важность конкретного показателя в общей характеристике благоустройства дворовой территории.

С учетом представленной иерархии показателей, характеризующих благоустройство дворовой территории, описанных в дереве свойств, был рассчитан коэффициент весомости данных показателей по формуле (1). На рисунке 2 представлен график показателей первого и второго уровней согласно дереву свойств благоустройства дворовых территорий. При анализе показателей первого уровня наиболее значимы для жителей города многофункциональные показатели благоустройства дворового пространства.

Следует отметить, что чем выше уровень показателя (максимально 4), тем ниже его коэффициент весомости. Именно поэтому целесообразно рассматривать данные критерии при сопоставлениях в группах по уровню и фактору.

Используя полученные коэффициенты весомости показателей (рис. 1), возможно провести оценку уровня благоустройства дворового пространства конкретной территории. Для этого на основании полученных и представленных

ных в данной работе значений коэффициентов весомости показателей, а также при участии экспертов необходимо определить эталонные и браковочные значения показателей. Эталонные показатели должны отражать необходимый уровень, наличие элемента благоустройства для рассматриваемой территории в соответствии с классом комфортности, природно-климатическими и демографическими особенностями территории. Браковочный показатель отражает минимально возможное, допустимое значение (наличие) фактора благоустройства двора. Браковочные и эталонные показатели должны определяться с учетом демографических, социально-экономических особенностей и потребностей населения, а также природно-климатическими условиями местности, так как данные факторы в целом определяют необходимый уровень благоустройства дворовых территорий. Далее с учетом полученных браковочных, эталонных значений показателей, критерия значимости возможно рассчитать качество благоустройства конкретного двора. Конкретизация двора и анализируемой территории необходима, так как требования к качеству благоустройства могут различаться в зависимости от возрастной группы населения, демографической ситуации, социального статуса и различных региональных (национальных) особенностей. Соответственно, эксперты, по результатам данных которых будут определены эталонные и браковочные показатели, должны быть знакомы с данной территорией и особенностями ведения быта населения.

Используя представленное дерево свойств благоустройства дворовых территорий, по результатам проведенной оценки возможно определить наиболее значимые мероприятия, которые могут быть направлены на увеличение уровня благоустройства дворовой территории. Именно представленная детализация позволит определить приоритетные направления мероприятий по благоустройству. Чем выше значение уровня (третий, четвертый), тем более детально можно определить мероприятие.

Качество благоустройства дворового пространства способствует социальному общению горожан, разнообразию досуга населения двора, а также оказывает положительное влияние на психоэмоциональное состояние жильцов рассматриваемого дворового пространства [16—19]. Именно поэтому для создания комфортных условий проживания необходимо стремиться к формированию благоприятного дворового пространства как малого элемента городской среды. Оценка качества дворового пространства позволит определить недостающие элементы с учетом потребностей горожан на основании сопоставления с эталонными и браковочными значениями показателей благоустройства двора. По результатам расчетов и сопоставления возможно назначить комплекс мероприятий, необходимый для повышения уровня благоустройства конкретного дворового пространства.

В данной работе при использовании методов интервьюирования и квалитметрии определены критерии весомости показателей, характеризующих благоустройство дворового пространства. На основании проведенного анализа определены основные критерии, которые позволяют оценить уровень благоустроенности дворового пространства, а также проводить анализ существующих и необходимых элементов благоустройства.

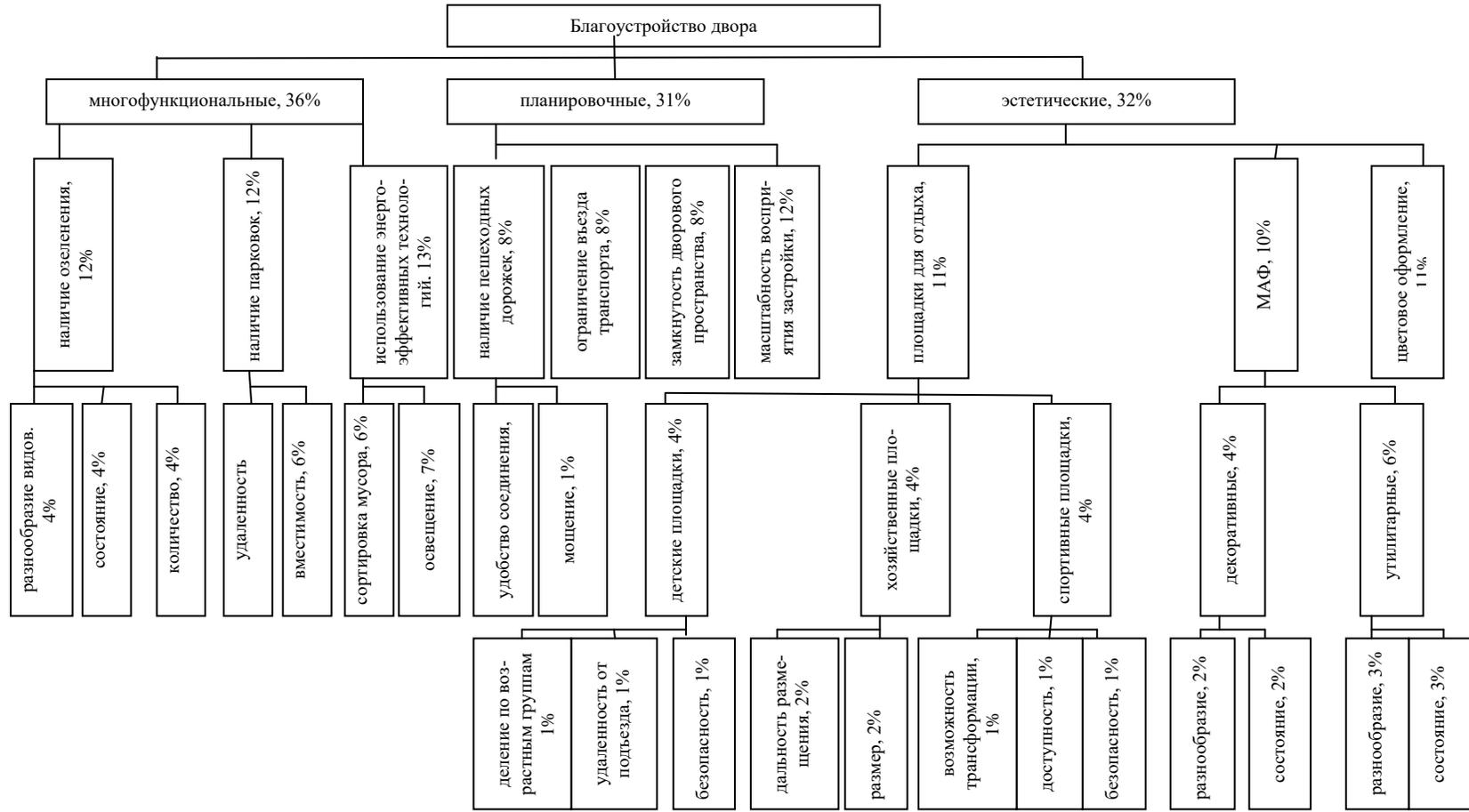


Рис. 1. Дерево свойств, определяющих благоустройство дворовой территории с указанием значения коэффициента весомости показателя

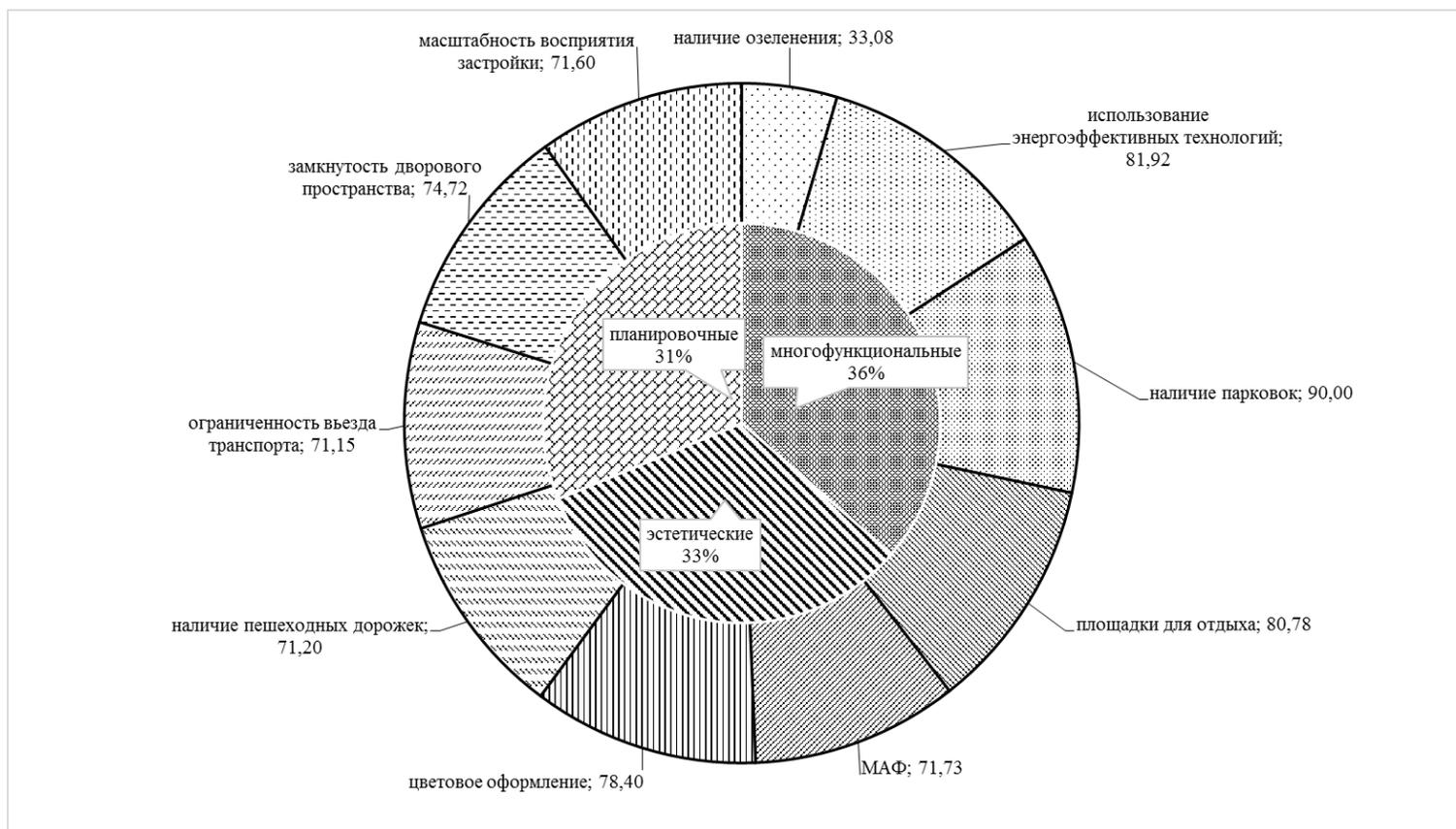


Рис. 2. Диаграмма показателей, характеризующих благоустройство дворовой территории первого (в центральной части) и второго уровней дерева свойств, с указанием среднего балла важности характеристики для горожан

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кульков А. А., Рогожкин А. А. Проблемы формирования комфортной и безопасной среды дворового пространства в условиях развития жилищного строительства // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18. № 23. С. 3847—3859.
2. Matovnikov S., Matovnikova N., Samoilenko P. The problems of designing a multifunctional courtyard space of high-rise buildings by the example of residential development in Volgograd. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/08/e3sconf\\_hrc2018\\_01006/e3sconf\\_hrc2018\\_01006.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/08/e3sconf_hrc2018_01006/e3sconf_hrc2018_01006.html).
3. Самойлова Н. В., Попова Е. Д. Современное состояние проблемы благоустройства территорий дворовых пространств // Символ науки. 2017. Т. 2. № 1. С. 194—200.
4. Ещина Е. В., Полянина А. Ю. Проблемы комплексного благоустройства дворовых территорий крупных городов России // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 4. С. 164—172.
5. Sirkkaliisa Usvamaa-Routila On “Visual Implication”: Outline of a Theory. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-57259-8\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-57259-8_3).
6. Иванова Н. И. Значение благоустройства дворовых территорий в городской системе // Студенческий научный журнал. 2017. № 9(9). С. 6—8.
7. Weina Ch. Decode the City: A Methodological Study Responding to the New Trend of City “Re-image” Montreal as a Case / Ch. Weina. School of Urban Planning. McGill University. Montreal, 2009. 75 p.
8. Kleerekoper Laura, Marjolein van Esch, Tadeo Baldiri Salcedo. How to Make a City Climate-Proof, Addressing the Urban Heat Island Effect // Resources, Conservation and Recycling. № 64. 2012. Pp. 30—38.
9. Alnusairat S., Elsharkawy H. Passive design approach for high-rise buildings: from courtyards to sky courts. URL: [https://www.researchgate.net/publication/316597624\\_Passive\\_design\\_approach\\_for\\_high-rise\\_buildings\\_from\\_courtyards\\_to\\_sky\\_courts](https://www.researchgate.net/publication/316597624_Passive_design_approach_for_high-rise_buildings_from_courtyards_to_sky_courts).
10. Горохов В. А., Пасторгуев О. С. Инженерное благоустройство городских территорий : учебник для вузов. М. : Стройиздат, 1994.
11. Rastyapina O. A., Koronova E. N. Assessment of the urbanized territory improvement rate // Iop conference series : materials science and engineering. 2018.
12. John H. Lowry Jr., Matthew E. Baker, R. Douglas Ramsey. Determinants of urban tree canopy in residential neighborhoods: Household characteristics, urban form, and the geophysical landscape. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11252-011-0185-4>.
13. Akbari H. Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO2 Emissions From Power Plants // Environmental Pollution. № 116. 2002. Pp. 119—126.
14. Georgi, Julia N., Dimos Dimitrou. The Contribution of Urban Green Spaces to the Improvement of Environment in Cities: Case Study of Chania, Greece // Building and Environment № 45. 2006. Pp. 1401—1414.
15. Булатова В. Д., Славина А. С. Влияние благоустройства жилых домов Екатеринбурга на детский досуг // Культура открытого города: новые смыслы и практики. 2017. С. 25—28.
16. Salesses P., Schechtner K., Hidalgo C. A. The Collaborative Image of The City: Mapping the Inequality of Urban Perception // PLOS ONE. 2013. Vol. 8. Iss. 7. 12 p.
17. Дмитриева А. Г., Басанец Д. В. Благоустройство дворовых пространств в жилой застройке крупных городов и их влияние на экологическую обстановку территории // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. 2018. С. 77—83.
18. Левина Ю. А. Благоустройство дворового пространства на примере центрального района города Воронежа // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2016. № 11. С. 57—59.
19. Плетнева Т. Г., Вишнякова М. И. Проблемы организации благоустройства муниципальных образований и пути их разрешения // Вестник ТвГУ. Серия: Экономика и управление. 2017. № 1. С. 161—166.

© Растяпина О. А., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

*Растяпина О. А.* Определение показателей оценки благоустройства дворового пространства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 287—296.

*Об авторе:*

**Растяпина Оксана Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [o\\_kast@list.ru](mailto:o_kast@list.ru)

**Oksana A. Rastyapina**

**Volgograd State Technical University**

**DEFINITION OF INDICATORS OF ASSESSMENT OF THE IMPROVEMENT OF THE YARD SPACE**

Various elements of improvement of yard space, promote social and cultural communication, a variety of leisure of inhabitants of the yard, and also a favorable psycho-emotional state of citizens. The presence of landscaping elements in the yard forms the quality of the yard space. To assess the level of quality, the author of the work defines the criteria for the importance of indicators of improvement of yard space. On the basis of the presented factors it is possible to determine the necessary directions for improving the level of improvement of the yard space.

**Key words:** improvement of the yard territory, elements of improvement of the yard territories, criteria for assessing the yard space, indicators of improvement of the yard space, significance factors for indicators of improvement of the yard space, qualimetry.

*For citation:*

Rastyapina O. A. [Definition of indicators of assessment of the improvement of the yard space]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 287—296.

*About author:*

**Oksana A. Rastyapina** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [o\\_kast@list.ru](mailto:o_kast@list.ru)

УДК 627.24

**О. А. Растяпина, С. М. Крахоткин, К. А. Фень**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ БЕЗОПАСНОСТЬ, НА ПРИМЕРЕ ГЭС «САНЬСЯ» В КИТАЕ**

В статье рассмотрены основные инженерные решения, используемые при сооружении гидротехнических сооружений и формирующие ее безопасность. Авторы работы провели анализ причин разрушения гидротехнических сооружений. В результате проведенного теоретического анализа строительства гидротехнических сооружений определены основные инженерные решения, позволяющие улучшить их эксплуатационные свойства.

**Ключевые слова:** гидротехническое сооружение, дамба, ГЭС «Санься», дамба в Мореже, дамба Гувера, Красноярская ГЭС, платина в городе Асуан, безопасность гидротехнических сооружений.

Согласно СП 58.13330.2012 гидротехнические сооружения — это сооружения, которые подвергаются воздействию водной среды, предназначены для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод<sup>1</sup>. Согласно данному своду правил к основным гидротехническим сооружениям относится порядка 20 видов, ко второстепенным — порядка 7 видов. Одним из основных видов является дамба, основная функция которой — защита территории от воздействия воды. При изучении карт наводнений по различным территориям Российской Федерации было установлено, что риски затопления достаточно высоки [1—5]. Исследователи предполагают, что в будущем число наводнений увеличится, при этом отмечена сезонность данного природного явления и определенная цикличность. Соответственно, строительство средств по защите территории от затопления является достаточно актуальным вопросом. Первоначально целью работы было провести анализ качественных характеристик дамбы обвалования, определяющих ее безопасность. Однако, рассматривая исторический опыт инженерных решений по строительству дамб обвалования, авторы работы пришли к выводу, что крупные гидротехнические сооружения, анализ которых представлен в статье, представляют собой комплекс сооружений, выполняющих функции дамбы, судоходного канала, водорегулирующих сооружений гидроаккумулирующих электростанций и т. п. Таким образом, в статье рассмотрены сооружения, которые позволяют не только предотвращать негативное воздействие воды, но и преобразовывать энергию воды в электрическую, при этом их устройство не ограничивает судоходство, если таковое требуется на местности. Основная функция дамбы — оградить территорию и защитить от возможного затопления. Помимо этого, дамбы могут использоваться в строительстве с целью деления территории на отдельные акватории. Учитывая стратегическую значимость данного вида объекта, необходимо определять безопасность гидротехнического сооружения, что определено законодательно и регулируется Федеральным законом от 23.06.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

<sup>1</sup> СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения.

На территории России находится более 30 000 водохранилищ, из них 60 очень крупных с водоизмещением около 1 млрд м<sup>3</sup>. Согласно данным отечественной статистики 200 водохранилищ и около 56 накопителей отходов в РФ эксплуатируются без ремонта уже более 50 лет [6]. Это значительно увеличивает вероятность возникновения на них аварий. Во всемирном реестре плотин зафиксировано 36 тыс. сооружений, из них на 300 были аварии<sup>2</sup>. Также установлено, что средний процент износа гидротехнических сооружений (ГТС) составляет 48 %, в том числе крупных напорных ГТС — 48,75 %; средних напорных ГТС — 43,25 %; малых напорных ГТС — 52,1 % [7]. Согласно данным Российского регистра гидротехнических сооружений зарегистрировано 5585 комплексов, из них почти 5 % комплексов, в которых присутствуют сооружения, имеющие опасный уровень безопасности, и 7 %, имеющие опасный уровень безопасности<sup>3</sup>.

Дамба Святого Франциска, построенная в 1924—1926 гг., рухнула в марте 1928 г. в результате неучета всех пород (факторов) сложения основания дамбы. Плотина Саут-Флорк, построенная в период 1838—1853 гг., была разрушена в 1889 г. из-за превышения расчетных объемов воды. Плотина Мальпасе была построена в период с 1952 по 1954 г., в ноябре 1959 г. плотина была разрушена в результате превышения объемов воды, из-за наводнения и плохого качества бетона в теле плотины. Дамба Баньяцо также была разрушена в августе 1975 г. в результате наводнения (превышения расчетных объемов воды). В 1979 году прорвало дамбу Мачу-2 в штате Гуаджарат, Индия (1972 г. строительства) вследствие наводнения [8]. Плотина Шакидор (2003 г.) в провинции Белуджистан Пакистана обвалилась в 2005 г. из-за проливных дождей в течение двух недель. В 2007 году на реке Чу во вьетнамской провинции Тханьхоа после резкого подъема уровня воды прорвало плотину строящейся ГЭС Кыадат [8]. Оровильская плотина была построена в период с 1961 по 1967 г., в 2017 г. был разрушен бетонный желоб основного водосброса и выявлены другие дефекты, которые могли привести к трагическим последствиям. Также из-за превышения объемов воды были разрушены плотины Вайонт в Италии (1963 г.), плотина на Киселевском водохранилище на реке Каква в Свердловской области (1993 г.), плотина Тирлинского водохранилища в Башкирии (1994 г.), семь защитных дамб на реке Эльбе г. Виттенберга (2002 г.), плотины у города Пасни в провинции Белуджистан на юго-западе Пакистана (2005 г.).

Наводнение на Кубани 2002 г.: дамба была прорвана в верхней части, и в результате защищаемая территория оказалась затоплена. В октябре 2019 г. прорван каскад дамб в Красноярском крае, в результате территория оказалась затопленной. Разрушение Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. произошло в результате дополнительных динамических нагрузок, воздействующих на крышки турбины, в процессе эксплуатации происходило усталостное повреждение узлов крепления и нарушения работы в целом машинного зала станции. В результате катастрофы погибли 75 человек, еще 13 было ранено, из-за аварии было нарушено энергоснабжение сибирских регионов, ущерб от аварии превысил 7,3 миллиарда рублей.

<sup>2</sup> URL: [http://www.cawater-info.net/int\\_org/icold/dam\\_safety.htm](http://www.cawater-info.net/int_org/icold/dam_safety.htm).

<sup>3</sup> URL: <http://www.waterinfo.ru/gts/index.php>.

В результате некачественного бетона или нарушения технологии возведения дамбы в процессе эксплуатации появились трещины в бетоне, что привело к разрушению дамбы Сент-Френсис в Калифорнии в 1928 г. Из-за некачественного бетона была разрушена плотина Мальпассе на реке Рейран, что было ранее отмечено.

Проведенный теоретический анализ позволил установить, что в качестве основных причин аварий и разрушения гидротехнических сооружений следует отметить превышение расчетного уровня воды, нарушение технологии возведения дамбы, некачественные материалы, неполный учет особенностей сложения основания гидротехнического основания. Как отмечают исследователи, значительная часть повреждения и разрушения дамб происходит в результате несовершенства грунтовых плотин и дренажных устройств [8—13].

Все отмеченные факторы были учтены, как утверждают инженеры-строители крупной дамбы (ГЭС) в Китае «Санься». Китай — одна из наиболее растущих экономик в мире. Чтобы снабжать топливом все нужды развивающейся промышленности, стране необходимо все больше энергии. Большая часть этой энергии будет производиться ГЭС «Санься» («Три ущелья»), соединяющей берега реки Янцзы в центральном Китае. Однако первоначально данное сооружение было предназначено для защиты территории от постоянных паводков и наводнений. Идея строительства дамбы была изложена политическим деятелем Сунь Ятсен в 1919 г. Но на этот момент у китайцев не было опыта строительства подобного рода сооружений. Хотя значимость данного сооружения была велика. Строительство началось в 1992 г. Первый энергоблок был сдан в эксплуатацию в 2003 г. Строительство длилось 22 года, в 2016 г. был старт пробной эксплуатации конструкции судоподъемника, что означало завершение строительства<sup>4</sup>.

Прежде чем китайские строители смогли приступить к возведению дамбы, им пришлось отвести в другую сторону русло реки, ширина которой более 2 км и переселить более 1 млн жителей земель. Дамба «Санься» (рис. 1) — самый крупный гидроэлектрический проект в мире. Для ее строительства было использовано более 28 млн м<sup>3</sup> бетона, 40 тысяч рабочих и 17 лет [14—16]. Однако власти Китая считают, что строительство этой дамбы стоит всех потраченных усилий, поскольку она будет снабжать население чистой и дешевой электроэнергией. Это вершина инженерного искусства в строительстве дамб. При этом у данного сооружения есть свои сторонники и противники. Сторонники дамбы отмечают ее преимущества и экономическую значимость: увеличивает пропускную способность и навигационную способность реки, снижает потенциал наводнения вниз по течению реки и, как следствие, экономических потерь от вероятных наводнений, вырабатывает большое количество электроэнергии (приравняется к 15 атомным электростанциям), при этом снижено воздействие на окружающую среду, происходит очистка отходов и сточных вод, которые раньше выносились в океан. Противники дамбы отмечают следующие недостатки: затопление археологических и культурных участков, переселение жителей, увеличение рисков оползней в связи с эрозией водохранилища, если случится катастрофа, 360 млн жителей ниже по течению р. Янцзы окажутся под серьезной угрозой,

<sup>4</sup> URL: [http://shippsupply.ru/?xml=news&news\\_cat=2&news\\_id=27937](http://shippsupply.ru/?xml=news&news_cat=2&news_id=27937).

создана угроза для флоры и фауны на прилегающей территории, что впоследствии скажется на экосистеме региона, из-за большого объема воды, которое вмещает в себя плотина во время прилива, замедлилось вращение Земли на 0,06 микросекунды [17, 18]. Однако у данного проекта больше сторонников, чем противников, учитывая отмеченные факторы и последствия предшествующих наводнений в результате разлива р. Янцзы. Своей успешностью дамба обязана опыту строительства 5 выдающихся гидротехнических сооружений. Именно изученный опыт строительства и эксплуатации сооружений позволил китайским инженерам разработать проект самого крупного гидротехнического сооружения в мире.



Рис. 1. ГЭС «Санься»

Исторический анализ следует начать с XIX в. В начале XIX в., когда Великобритания стала центром промышленной революции, предприниматель Армстронг задумался над освещением своего поместья Крэгсайд. Он оснастил свое жилище новейшими технологиями, включая центральное отопление и механическое устройство, приводящие в движение лифты, стиральные машины и гриль. Для снабжения поместья электричеством Армстронг приобрел прибор — вихревую турбину Томсона. Чтобы приводить в действие ротор, турбине Томсона необходимо огромное количество быстро текущей воды, но все, что у него было — это крошечный ручеек, протекавший по его владениям. Ему требовалось огромное количество воды, которое никак нельзя было получить из маленького ручейка. Поэтому Армстронг построил плотину. Он соорудил вал высотой почти в 10 м и превратил свой ручеек в глубокое озеро. Давление массы воды на дно было достаточно сильным. По трубе Армстронг направил воду под высоким давлением вниз к основанию плотины. Дальше вода попадала в турбину Томсона, и поток приводил в движение ротор. Это, в свою очередь, заставляло вращаться вал, производившим 4 тыс. Вт электроэнергии. Чтобы подвести электричество к своему особняку, он подсоединил к генератору две жилы толстой медной проволоки. Для обеспечения питания всего одной лампочки в общей сложности понадобилось 5 т меди. Однако он создал первый в мире дом, освещенный силой воды. На данном принципе построена работа дамбы «Санься».

Река сейчас поднята на высоту почти 100 м над руслом реки Янцзы. Вода направлена вниз к генераторам по гигантским бетонным трубам. Здесь поток воды ударяется в турбины и заставляет их вращаться. Это движение, в свою очередь, передается ротору генератора. Генератор снабжен гигантскими магнитами, которые перемещаются мимо медных катушек в защитной оболочке, тем самым производя электричество.

Франция, 1914 год. Начало Первой мировой войны погрузило в глубокий энергокризис. Место рождения каменного угля было оккупировано немецкими войсками, и французы были вынуждены импортировать уголь из-за границы, чтобы снабжать топливом свои электростанции. Поэтому после войны французские власти решили расширить энергетическую базу страны и использовать ГЭС для получения электрической энергии. Строительство бетонной плотины в Борне и Дордоне оказалось непростой задачей. Нельзя просто взять и налить бетон посередине течения. Они хотели построить плотину, но чтобы получить одну дамбу, нужно было построить сразу три. Во-первых, ставилась временная плотина, так называемая перемычка, которая останавливает течение реки. Просто так реку не остановить, она будет переливаться через край, пока не будет построен отводной канал. Чтобы вода не поступала обратно, необходимо строительство второй перемычки. Таким образом, будет получено пространство, которое можно осушить и на этом месте строить основную плотину. На Дордоне с помощью взрыва инженеры сделали 2 тоннеля в горной породе, чтобы пустить по ним изменившую направление реку. Временная перемычка строится из стальных плетей, наполненных камнями. Затем ее укрепляют с помощью бетона. Чтобы предотвратить возвращение воды, инженеры строят вторую перемычку. Вода в русле высыхает, и это идеальное место для строительства основной плотины. К счастью, русло реки оказалось скалистым грунтом, поэтому они могли начать строительство прямо на нем. Слой за слоем гигантское бетонное сооружение поднимается на высоту трехэтажного здания над руслом реки. После этого инженеры закрывают отводные каналы, позволяя водохранилищу заполниться, чтобы перемычки, которые уже выполнили свою функцию, оказались под водой. В итоге они могут открыть ворота, выпускающие воду к турбинам, и начать производство электричества. Дамба в Мореже производит 128 МВт электроэнергии. Этого достаточно, чтобы снабжать электричеством линию поездов от Леона до Парижа.

Протяженность реки Янцзы более 6 тыс. км и в некоторых местах в ширину достигает нескольких километров, это самая длинная река в Китае. Учитывая то, что Янцзы является одной из самых больших рек в мире, очень глубокой и стремительной задачей стало возведение перемычек для обеспечения безопасности строительства. Китайские строители утверждают, что это было самое масштабное и самое сложное изменение русла реки, которое когда-либо производилось при строительстве гидроэлектростанций. Инженеры начали работу над серией каменных перемычек, чтобы заблокировать часть реки. При этом оставляя открытым канал, через который пойдет остальная вода. На осушенном русле реки они построили первые две секции основной плотины. Затем они выгрузили в реку тонны земли и поверх построили еще одну перемычку, на этот раз из бетона. За этой перемычкой река будет под контролем, и они смогут приступить к строительству последней части дамбы. Необходимы перемычки, чтобы вода могла попасть в турбины основной дамбы. Когда построены такие прочные перемычки, основная сложность заключается в их демонтаже. На начальной стадии перемычки делаются из крупных кусков горной породы, их можно относительно легко убрать с помощью экскаватора, однако на последнем этапе, когда перемычка сделана из бетона, потребуются совершенно иные технологии. В отличие от перемычек в Мореже, китайский вариант слишком высок, чтобы просто оставить перемычки

как есть. Поэтому китайские инженеры при возведении такой перемычки оставляют в ней отверстия для зарядов взрывчатого вещества. Шестого июня 2006 г. они наполнили перемычки 200 тоннами динамита и задержали дыхание. Потребовались месяцы, чтобы построить эту перемычку, и всего секунды, чтобы разрушить. И когда стена рушится, она освобождает воду. Дамба «Санься» выдержала это испытание.

В 30-е годы XX столетия США решили разобраться с одной из своих важных экономических проблем. Города западных штатов не могли развиваться, потому что им не хватало воды и электроснабжения. Чтобы выйти из тупика, инженеры начали работу над дамбой Гувера (рис. 2). Люди, работавшие над этим проектом, были самыми настоящими авантюристами. Старались делать все по высшему разряду, они могли сидя на досках, свешиваясь со скалы на веревках, гидроударниками отбивать куски горной породы, чтобы залитый бетон как следует соприкасался с поверхностью. В ходе строительства этой плотины было использовано больше бетона, чем когда-либо и где-либо прежде. Но управляться с таким количеством бетона инженерам дамбы было непросто. Когда вы работаете с таким огромным количеством бетона, возникает одна специфическая проблема жара. Необходимо понимать, что бетон состоит из трех основных ингредиентов. Во-первых, это цемент, активный ингредиент, который вступает в реакции и изменяется. Затем вода, которая реагирует с цементом. Как правило, там есть спрессованное вещество (камень, песок), которое придает всей смеси прочность. Когда мы помещаем цемент в емкость, начинается химическая реакция гидротации. Это экзотермическая реакция, она означает, что температура смеси будет повышаться. Вы находитесь в центре гигантского бетонного сооружения, где теплу некуда уходить и внутри становится все жарче и жарче, бетон расширяется и трескается снаружи, когда вы заливаете бетоном большое пространство во время строительства плотины. Трещины — это очень плохо. Если при строительстве дамбы Гувера залить сразу весь бетон, то он будет остывать снаружи быстрее, в то время как центральная часть дамбы будет оставаться горячей. Там бетон будет продолжать расширяться, в результате избыточное давление приведет к появлению трещин. Поэтому инженеры заливают бетон для дамбы Гувера маленькими отдельными блоками (рис. 3). Когда бетон в каждой из них остывает, он сжимается, но не трескается. Из-за сокращения бетона между блоками остаются небольшие пространства, которые инженеры должны заполнить цементом. Однако этот хитроумный план не поможет решить всех проблем. Дамба Гувера поражает своими размерами, для ее строительства понадобилось 6 млн т бетона, и, если бы нам удалось сконцентрировать жар в одной духовке, мы бы смогли готовить пол миллиона буханок хлеба каждый день на протяжении трех лет. Было посчитано, что без посторонней помощи сооружение будет продолжать остывать и сжиматься еще на протяжении 125 лет. Отвечал за строительство Фрэнсис Тренхолм Кроу. Он говорил, что не может ждать 125 лет и будет использовать реку Колорадо, чтобы остудить дамбу. Кроу вставил в бетон дамбы Гувера более 950 км стальных водопроводных труб. Он возвел гигантский завод по охлаждению воды. Здесь он охлаждал воду до 4 градусов, после она по трубам пускалась в горячий бетон. Это сократило время охлаждения бетона со 125 лет до 22 месяцев. Потребовались усилия 50 тыс. людей и 22 месяца, чтобы соорудить эту

громадину. Более того, они закончили работу раньше срока и потратили средств меньше, чем предполагал бюджет проекта. Дамба Гувера держит 35 млрд куб. литров воды, среднегодовая выработка электроэнергии — 4 млрд кВт/ч. Города американского запада наконец могут начать свой путь к процветанию благодаря этой восхитительной дамбе<sup>5</sup> [19].



Рис. 2. Дамба Гувера

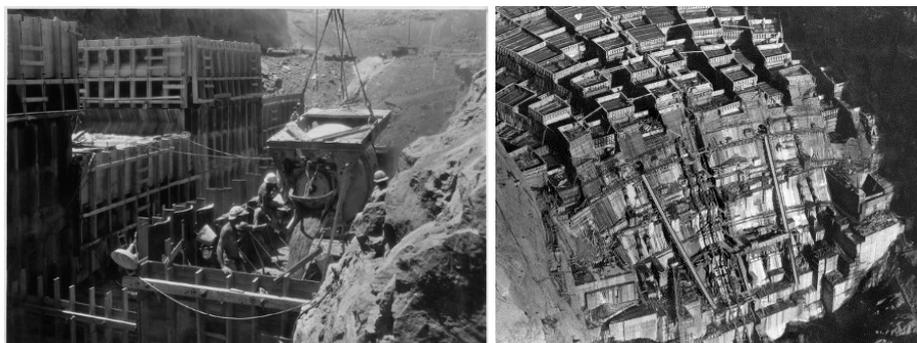


Рис. 3. Строительство дамбы Гувера в 1936 г.<sup>6</sup>

Дамба «Санья» поднимает мастерство создания бетонных конструкций на новый уровень. В ней содержится в 10 раз больше бетона, чем в дамбе Гувера, поэтому инженерам пришлось приложить невероятные старания, чтобы охладить конструкцию. Приходилось испробовать огромное количество способов охлаждения. Распыляли воду, чтобы она образовывала туман, который не даст дополнительно прогреть бетон.

В 1936 году инженеры, работавшие над дамбой Гувера, доказали, что можно строить невероятно большие плотины до тех пор, пока удастся сдер-

<sup>5</sup> U.S. Department of the Interior Construction of Hoover Dam: a historic account prepared in cooperation with the Department of the Interior: KC Publications, 1976. 48 p.

<sup>6</sup> URL: <https://www.lasvegas-entertainment-guide.com/hover-dam-construction.html>.

живать рост температуры, но по мере того как дамбы становились все больше, они удерживали все больше воды и превращались в источник огромной разрушительной энергии. Чтобы построить плотину Гранд-Кули, американские инженеры должны были защитить ее от катастрофических последствий затоплений.

30 мая 1889 г. Джонстаун, штат Пенсильвания, попадает под сильнейший ливень. Целостность водохранилища оказывается под угрозой. Дождь шел целые сутки, и вода достигла края дамбы. Воде ничего не остается, как перелиться через край. Дамба рушится, и 20 млн тон воды выливаются за 45 минут. Стена воды 18 м в высоту с сокрушительной силой разбивается об долину и несется на Джонстаун. В результате город был совершенно разрушен. Более 2200 людей пропали без вести во время наводнения. Это было самой страшной катастрофой, с которой когда-либо сталкивались США на тот момент.

Почему дамбы рушатся, когда они переполнены? Проблема заключается в том, что, когда вода переливается через край дамбы, она ослабляет почву у основания сооружения. Почва здесь очень восприимчива к тому, что называется размывом подошвы. Размыве подошвы огромная проблема, и нужно искать какие-то пути решения. В 1933 году американские инженеры начали работу над плотиной Гранд-Кули на реке Колумбия на северо-западе США. Эта плотина, по сравнению с которой дамба Гувера кажется малышкой. Ее протяженность в три раза больше, и для строительства понадобилось в 3 раза больше бетона. Когда инженеры закончат строительство Гранд-Куле, необходимо убедиться в том, что трагедия Джонстауна здесь не повторится. Вода, потоком несущаяся через порог дамбы, может быстро размывать русло и привести к катастрофе. Поэтому инженеры бетонируют наклонную площадку основания дамбы. Она служит в качестве водостока, в котором образуется вихрь, рассеивающий энергию потока. По мере того как вода переливается через бетонную площадку, она теряет большую часть своей разрушительной силы. Когда такая бетонная площадка установлена, инженеры могут без риска эксплуатировать плотину Гранд-Куле, которая по сей день имеет право называться самой большой ГЭС в США [20]. Строители дамбы «Санья» сталкиваются с той же самой проблемой, они тоже должны убедиться, что их дамба не повреждается паводковой водой. Как правило, во время наводнений дамбу удерживает большая масса воды. Здесь она может выдержать около 20 млрд куб. литров воды, которая затем под контролем будет выпущена через систему 46 водосливных ворот и желобов. Конструкция водосливов позволяет управлять энергией сливов, падающей с высоты сотни метров, когда она достигает огромной скорости у основания дамбы. Чтобы изменить направление сливов воды, падающей вниз, китайские строители используют технологию, схожую с той, что применялась при строительстве Гранд-Куле. По мере подъема воды инженеры открывают серию ворот, чтобы осушить резервуар. Но если вся вода выльется вниз сразу, то она может размывать основание дамбы. Поэтому инженеры снабжают водосливы бетонными желобами. В отличие от наклонной платформы на дамбе Гранд-Куле желоба дамбы с силой расшвыривают воду в воздухе, попадая в воздух, вода разлетается на маленькие капли и теряет большую часть своей разрушительной мощи. Она приземляется в 100 метрах ниже плотины, где не может причинить никакого вреда. Поэтому, когда китайские инженеры открывают ворота, поводов для

беспокойства у них нет. В 1942 году плотина Гранд-Куле показала, как дамба может справляться с разрушительной силой наводнений. Но чтобы построить дамбу через могучую реку Енисей, инженерам пришлось найти способ остановить воду, не мешая при этом судоходству.

В 1960 году СССР начал наращивать промышленную мощь. Правительство решило построить серию гигантских дамб. Одна из первых — Красноярская ГЭС — должна была протянуться на 1 км через реку Енисей и производить 6 тыс. МВт электроэнергии. Эта река является главным судоходным путем Сибири, и дамба заблокирует его. Чтобы не возникло препятствий для судоходства, инженеры разработали план. Они решили построить стальную судовозную камеру (рис. 4). Эта камера должна доставлять судно к верхней части дамбы. После чего это чудо техники повернется и переправит судно в реку с другой стороны дамбы. Чтобы переместить груз в 7 тыс. тонн, в ход идут гидравлические насосы. Советские инженеры использовали жидкость под высоким давлением для подъема судов. В стенах находились мощные насосы, которые сжимали гидравлическую жидкость под невероятным давлением в нескольких двигателях, спрятанных под ними. В результате в движение приводятся огромные стальные шестеренки, которые перемещают повозную камеру. Двигатели производят такое большое тяговое усилие, что могут поднять камеру на верх дамбы всего за 90 минут.



Рис. 4. Судовозная камера<sup>7</sup>

На китайской плотине «Санься» инженеры столкнулись с большой транспортной проблемой. Река Янцзы — важнейший навигационный путь в Китае. По нему суда идут от Шанхая вверх по течению до самого города Дзюнь-дзянь и до города Чунсын. За год по реке перевозят более 8 млн тонн грузов. Провести около 170 судов за день через дамбу, которая достигает в высоту более 100 м, — непростая задача для инженеров. Поскольку эта плотина самая большая на планете, строители решили ее проблему в соответствии ее статусу, соорудив самый большой в мире судоходный шлюз. Суда заходят в шлюз у основания дамбы, ворота закрываются, и шлюз заполняется водой. Суда поднимаются к следующему шлюзу. Чтобы добраться до верхней части дамбы, суда должны миновать 5 уровней шлюзов (рис. 5). Процесс может занять до 4 часов. Это нормальный срок для грузового судна, но слишком долгий для пассажирских судов, которые ходят по реке Янцзы. Чтобы обеспечить более эффектив-

<sup>7</sup> URL: <https://gelio.livejournal.com/149891>.

ный транзит для пассажирского транспорта, была построена эта система подъемников, которая позволяет переправлять суда на другую сторону дамбы всего за 36 минут. В отличие от судового подъемника в Красноярске, в ГЭС «Санься» суда будут подниматься вертикально, как в обычном лифте. Секрет его успеха заключается в бетонных стенах. 16 бетонных блоков, каждый весом в 1000 т, будут соединены со стальной судовозной камерой, в которую погружается судно и погружается вода. Противовесы падают вниз и поднимают судно на самый верх. Судоподъемник может поднимать суда весом до 3000 т на высоту до 113 м. Эти показатели делают его самым большим подъемником в мире. Он в два раза больше, чем в Красноярске.

После 130 лет инновационных разработок дамбы стали производить намного больше электроэнергии. Сегодня гидроэлектроэнергия самая экологическая форма энергии в мире, однако чем больше размеры строящихся дамб, тем больше их воздействие на окружающую среду. При строительстве дамбы «Санься» китайские инженеры должны были удостовериться, что их конструкция не мешает природе снабжать водой почву.



Рис. 5. Шлюзы на ГЭС «Санься»

Дамба «Санься» производит больше энергии, чем любая другая ГЭС, но это не единственная причина, по которой она была построена. Река Янцзы печально известна своими серьезными наводнениями. За последние 2000 лет каждое 10-летие случалось одно серьезное наводнение. В 1931 году наводнение унесло 135 тыс. человек. Было разрушено почти 2 млн домов, поэтому главная цель строительства дамбы — взять под контроль эту проблему. Дамба перекрывает путь разрушительной паводковой воде. Вода скапливается в водохранилище и затем контролировано выпускается. Но за последние годы стало ясно, что управление водой может быть связано с серьезными побочными эффектами в области экологии.

В 1970 году египетские инженеры возвели высокую плотину в городе Асуан через реку Нил, чтобы контролировать наводнения. Но вскоре фермеры, жившие внизу по течению, заметили, что начали терять урожай. Почва стала такой неплодородной, что фермерам понадобилось миллионы тонн удобрений каждый год, чтобы подкармливать свои зерновые культуры. Их уголье так пострадали, потому что в почве не доставало паводковой воды, которая приносила с собой жизненно важные питательные элементы. Однако если вода перестанет поступать в почву, эти питательные частицы ила начнут оседать на дно дамбы. Это большая проблема, особенно для самой большой в мире плотины. Ценный ил реки Янцзы с водой попадает в дамбу и остается в

водохранилище. Он быстро скапливается на дне. Заиливание — огромная проблема. Каждый год накапливается около 500 млн т ила. Если ил так и останется в водохранилище, то фермеры, рыбаки и дикая природа в нескольких сотнях км вниз по течению не получают питательных веществ. Тонны осевшего ила будут накапливаться в водохранилище и начнут представлять угрозу для самой плотины. Как правило, накопление осадка в водохранилище приводит к уменьшению эффективности, уменьшая вместительность. Впоследствии это может повлиять на работу турбин, если осадок поднимается высоко. Китайские инженеры нашли мудрое решение проблемы. Они используют энергию паводковой воды, чтобы смыть ил и отправлять его вниз по течению. Глубоко в дамбе они установили спуски. Каждый водоспуск приводится в движение мощным гидравлическим поршнем. Когда механики открывают ворота, то поток воды устремляется к осадку и разметает его по плотине. Китайские власти надеются, что пройдет не менее 100 лет, прежде чем накапливающийся в дамбе осадок начнет оказывать влияние на эффективность ее работы. Но даже продуманная система очистки не может смыть осадок по всей дамбе. Ученые подсчитали, что количество осадков, которое остается, варьируется от 30 до 60 %. Однако власти Китая уверены, что преимущество, которое дает использование этой дамбы чистая энергия, контроль над наводнениями определенно покрывают недостатки.

Стоя на плечах исторических гигантов инженерии, дамба «Санься» представляет высочайший уровень мастерства в строительстве ГЭС до тех пор, пока кто-то не отважится построить дамбу еще больших масштабов.

Проведенный исторический анализ строительства гидротехнических сооружений позволил определить основные этапы разработки инженерных решений для строительства сооружений подобного уровня. Именно инженерные решения, основанные на историческом анализе строительства, принятые при строительстве дамбы «Санься», делают ее более безопасной с точки зрения эксплуатации. Можно отметить шесть основных инженерных решений, определяющих безопасность гидроэлектростанции. Первый — это определение мощности дамбы и, соответственно, конструкции дамбы. В зависимости от мощности потока воды и определяется вероятная мощность гидротехнического сооружения. Исходя из силы воды, необходимо определять и оборудование, которое будет перерабатывать энергию воды в необходимую электроэнергию. Второй — это разработка мероприятий на период строительства гидротехнического сооружения. Необходимо осушать территорию на время строительства, а значит, определить наиболее безопасное направление для изменения русла реки. Третий — определение методики для оптимального остывания бетона при строительстве. Чем больше объем бетона, тем больше времени потребуется для его остывания и тем больше вероятность, что могут появиться трещины. Четвертый — определение основания дамбы. В случае переполнения дамбы возможно ослабление основания, а значит, необходим тщательный анализ геологического строения основания и разработка мероприятий по снижению объемов воды в случае превышения среднего расчетного уровня. Пятый — дамба перекрывает водный канал, но несмотря на это, может эксплуатироваться с точки зрения судоходства. Шестой — возможно сохранить плодородие ниже расположенных почв за счет устройства механизма спуска и очистки ила со дна дамбы.

Гидротехническое сооружение должно отвечать необходимым требованиям безопасности, так как при эксплуатации возможно как нарушение экологической составляющей природы, так и возникновение техногенной опасности на прилегающей территории. При проектировании подобных сооружений необходимо учитывать не только опыт существующих проектных решений и адаптировать их под конкретные проектные условия, но и прогнозировать последствия аварии с учетом сил и средств для их ликвидации<sup>8</sup> [21—23].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Борисова Т. А.* Карты рисков наводнений — эффективный инструмент управления // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. 2017. С. 150—153.
2. *Борисова Т. А.* Картографирование природных рисков от наводнений на реках бассейна озера Байкал // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 121—125.
3. *Ловцкая О. В., Кошелев К. Б., Балдаков Н. А.* Web-ГИС для визуализации результатов моделирования опасных гидрологических ситуаций // Известия Алтайского отделения русского географического общества. 2015. № 4(39). С. 49—52.
4. Оценка опасности гидрологических явлений на региональном и локальном уровнях / Н. Л. Фролова, С. А. Агафонова, А. С. Завадский, И. Н. Крыленко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 3. С. 58—74.
5. Мониторинг природных явлений как основа обеспечения безопасности в бассейнах рек Российской Федерации / В. А. Куделькин, Т. Г. Габричидзе, А. М. Зайцев, А. В. Болтавский // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2014. № 3(29). С. 67—71.
6. *Смуров А. В., Балакин А. П.* Применение современных систем постоянного мониторинга для повышения безопасности гидротехнических сооружений // Гражданская оборона на страже мира и безопасности. 2019. С. 292—298.
7. Система повышения безопасности комплекса гидротехнических сооружений ижорского водохранилища / Н. А. Жильникова, И. А. Шишкин, И. В. Мателенок, А. И. Вишнякова // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. 2019. С. 139—143.
8. *Говорушко С. М.* Влияние природных процессов на гидротехнические сооружения (сообщение 2) // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 2(50). С. 75—87.
9. *Гегиев К. А.* Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования грунтовых плотин и дамб с закрытыми водопропускными сооружениями : автореф. дис... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2008.
10. *Кавешников А. Т., Смирнов Л. В.* Гидравлические расчеты водовыпусков водохранилищных гидроузлов. М., 1984. 89 с.
11. *Леонов М. П., Свительская Л. И.* Гидрогеологический режим основания Чарвакской плотины после десяти лет эксплуатации // Гидротехническое строительство. 1989. № 9. С. 38—43.
12. *Бальзанников М. И., Родионов М. В., Селиверстов В. А.* Повышение экологической безопасности эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 1. С. 100—105.
13. *Кутляров Д. Н., Кутляров А. Н.* Безопасность гидротехнических сооружений // Межведомственный сборник материалов, посвященных всемирному дню водных ресурсов. 2011. С. 114—116.
14. *Pekhtin V., Yakovlev D.* Russia and her European dams // International water power and dam construction. 2015. № 9. Pp. 26—27.
15. *Золотов Л. А., Шайтанов В. Я.* Завершение основной фазы строительства гидроузла Три ущелья; первый опыт эксплуатации // Гидротехническое строительство. 2011. № 3. С. 53—57.
16. *Елистратова В. В., Заиров Х. И.* «Три ущелья» — крупнейшая гидроэлектростанция Мира // Энергохозяйство за рубежом. 2011. № 1(254). С. 26—32.
17. *Ерохин С. В.* ГЭС «Три ущелья» в ТЭК Китая // Энергия: экономика, техника, экология. 2005. № 12. С. 36.

<sup>8</sup> URL: [html#/149891.html](http://html#/149891.html); <https://www.e-river.ru/>.

18. *Wu Xianzhu*. Discovery and significance of a acipenser sinensis graydorsal plate at lanjiazhai site, chongqing, china // *Eurasia in the Cenozoic. Stratigraphy, paleoecology, culture*. 2015. № 4. С. 291—295.
19. Russell J., Cohn R. Hoover Dam: VSD. 2012. 104 p.
20. *Paul C. Pitzer* Grand Coulee: Harnessing a Dream Hardcover. 1994. 504 p.
21. *Бабарыка С. Н., Самофалов И. А.* Безопасность гидротехнических сооружений как аспект техносферной безопасности региона // *Вестник Луганского национального университета им. В. Даля*. 2019. № 5. С. 9—16.
22. *Пономоренко А. Г., Михайлова Е. А.* Оценка техногенной и экологической безопасности гидротехнических сооружений различного назначения // *Семьдесят первая Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистров и аспирантов высших учебных заведений с международным участием*. 2018. С. 582—586.
23. Оценка безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений / Н. П. Куранов, Н. Н. Розанов, Е. А. Тимофеева, Т. Г. Войнич-Сяноженцкий // *Вредоснабжение и санитарная техника*. 2012. № 12. С. 16—22.

© *Растяпина О. А., Крахоткин С. М., Фень К. А.*, 2020

*Поступила в редакцию  
в ноябре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Растяпина О. А., Крахоткин С. М., Фень К. А.* Основы строительства гидротехнических сооружений, определяющие их безопасность, на примере ГЭС «Санься» в Китае // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 297—310.

*Об авторах:*

**Растяпина Оксана Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [o\\_kast@list.ru](mailto:okast@list.ru)

**Крахоткин Сергей Михайлович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

**Фень Ксения Андреевна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

***Oksana A. Rastyapina, Sergei M. Krakhotkin, Kseniya A. Fen'***

***Volgograd State Technical University***

## **BASES OF CONSTRUCTION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES DETERMINING THEIR SAFETY ON THE EXAMPLE OF SANSIA HPP IN CHINA**

The article discusses the basic engineering solutions used in the construction of hydraulic structures and forming its safety. The authors of the work analyzed the causes of the destruction of hydraulic structures. As a result of a theoretical analysis of the construction of hydraulic structures, the main engineering solutions are identified that can improve their operational properties.

**Key words:** hydraulic structure, dam, Sansya hydroelectric power station, Morezh dam, Hoover dam, Krasnoyarsk hydroelectric power station, platinum in the city of Aswan, safety of hydraulic structures.

*For citation:*

Rastyapina O. A., Krakhotkin S. M., Fen' K. A. [Bases of construction of hydrotechnical structures determining their safety on the example of Sansia HPP in China]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 297—310.

*About authors:*

**Oksana A. Rastyapina** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, o\_kast@list.ru

**Sergei M. Krakhotkin** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Kseniya A. Fen'** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 721.012.8

**А. А. Тисленко, Н. М. Шаповалова, С. А. Матовников**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОТРАЖЕНИЕ ФИЛОСОФИИ БРЕНДА ЧЕРЕЗ ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА ОФИСНЫХ ПРОСТРАНСТВ. БРЕНДИРОВАНИЕ ИНТЕРЬЕРА.**

В статье на примере шести брендов разной направленности и их офисов анализируются дизайнерские приемы, с помощью которых фирмы выражают свои принципы, цели и задачи. Производится анализ дизайна интерьеров с эстетической, эргономической и психологической точек зрения. Рассматривается отражение философии компании, ее слоганов и продукции в оформлении рабочих пространств.

**Ключевые слова:** бренд, брендинг интерьера, дизайн интерьера, офисные пространства.

В современном мире все большее значение обретает понятие «бренд» и все, что к нему относится: название бренда, логотип, палитра фирменных цветов, набор фраз, звуки, торговая марка и прочее. Бренд — это комплекс представлений, мнений, ассоциаций, эмоций, ценностных характеристик о продукте либо услуге в сознании потребителя. Настоящий бренд мы определяем как общую сумму всех впечатлений, полученных покупателями и потребителями, которые в результате складываются в определенное мысленное представление, основанное на воспринимаемых функциональных и эмоциональных выгодах. «Выделяющийся» — это ключевое слово для понимания настоящего значения бренда. И это решает не организация, выделяется ее бренд или нет. Бренд может выделяться, только если так считает покупатель [1].

При этом понятие бренда неразрывно связано с его философией — системой общественных, социальных, этических и эстетических ценностей отношения бренда к окружающей среде. Бренду доверяют, бренд имеет больше преимуществ перед производством, его не имеющим. Он, несомненно, выделяет предприятие среди множества других существующих предприятий, что позволяет потребителю лучше запомнить производимую продукцию, сделать ее узнаваемой. Но, как правило, бренд выражается не только через специально разработанный фирменный стиль (логотип, палитра фирменных цветов, дизайн упаковки и рабочей документации). Большую роль играет место, в котором будет реализовано непосредственное продвижение производимой продукции: фирменный магазин, студия, офисные помещения и т. д. Производителю важно создать уникальное физическое и ментальное пространство с собственной философией и атмосферой, в которую должен погрузиться клиент.

Таким образом, возникает определение «брендинг интерьера». Это намного больше, чем просто дизайн. Можно создать привлекательное пространство для продаж, но при этом оно совершенно не будет ассоциироваться с философией бренда, а значит, не будет таким запоминаемым и узнаваемым. Формальные аспекты, внешние проявления и общий вид — следствие самого существа бренда и присущих ему отличительных особенностей. Выбор символа требует ясного определения, что же бренд означает [2]. В интерьере оп-

ределенного бренда проявляются элементы фирменного стиля — присущая ему геометрия, фирменная палитра, визуальные образы, а также соответствующая планировка. Это хорошо просматривается в дизайне широко распространенных известных брендов, таких как Procter & Gamble, Audi, Apple и др. Рассмотрим подробнее некоторые из них.

### **Офис Audi в Сан-Паулу**

В 2017 году архитекторы из проектного бюро Informov Architecture & Construction разработали дизайн интерьера офисов производителя автомобилей высокого класса Audi, расположенных в Сан-Паулу, Бразилия.

Это большое офисное пространство площадью 1500 м<sup>2</sup> расположилось на высоте 14 этажа одного из бизнес-центров Сан-Паулу<sup>1</sup>. Перетекающая планировка помещений привнесла улучшенную синергию и связь между разными зонами офиса. Это ассоциируется с оригинальной комплектацией и эргономичностью салонов автомобилей Audi. Количество конференц-залов было спроектировано в соответствии с потребностями работников офиса, так же как и другие вспомогательные зоны, например неформальные конференц-залы и зоны коллективного сотрудничества (рис. 1). Ничего лишнего, только то, что направлено на работу высокого качества, как и в выпускаемой продукции бренда.



Рис. 1. Зона отдыха офиса Audi в Сан-Паулу



Рис. 2. Зал совещаний офиса Audi в Сан-Паулу

Уже со входа в офисное пространство у посетителя складывается представление о характере дизайна интерьера — богатый на детали и со строгими чертами, современный и бруталный. Стены лифтового холла в зоне ресепшен имеют наклейки, изображающие некоторые модели автомобилей, производимых компанией. Такие же во всю стену фотографии автомобилей расположены в зоне офисов, что позволяет сотрудникам раз за разом погружаться во вселенную Audi. L-образные столы были заменены новыми, улучшающими связь между командами и отдельными профессионалами.

Вспомогательные зоны, такие как комната отдыха, зона маркетинга, коммуникации и продаж, располагаются в окружении отдела закупок, юридического и сервисного центра, кабинетов президента и директоров, находящихся в закрытых помещениях, т. к. характер их работы присваивает им большую конфиденциальность и приватность<sup>2</sup>. Когда задача требует большей

<sup>1</sup> Audi Offices — São Paulo // Office snapshots. 2017. URL: <https://officesnapshots.com/2017/06/21/audi-offices-sao-paulo>.

<sup>2</sup> Там же.

концентрации и тишины, есть возможность использовать комнаты фокусировки (рис. 2). В данной планировке используется универсальный дизайнерский прием — принцип открытого пространства и уединения. Среды, в которых достигнут баланс между обзором и уединением, являются самыми комфортными для человека [3].

В дизайне интерьера всех помещений использована фирменная палитра цветов Audi: черный, белый, красный и серебристый. В общей комнате отдыха добавлены цветовые акценты на мебели в качестве синего, зеленого и желтого цветов под расцветку некоторых моделей автомобилей. Формы мебели, стеновых конструкций, напольных и потолочных покрытий соответствуют формам автомобилей Audi: плавные изгибы, четкие контуры, обтекаемость и высокотехнологичность. Им сопутствует соответствующая подсветка: в зоне отдыха это красная светодиодная лента на потолке, похожая на оставленный на большой скорости световой след от автомобиля, в зоне офисов — светильники-фары.

### **Офис компании Procter & Gamble в Москве**

Один из офисов огромной транснациональной компании расположился в бизнес-центре Метрополис в Москве. Это большая площадь с зоной ресепшен, офисными помещениями, конференц-залами и столовой. Отличительные черты всех пространств — большое количество света, ощутимая чистота и воздушность, минимум деталей и натуральность материалов. Экологичность, доступность, простота, свежесть и чистота — те критерии, которые компания предъявляет не только к своему офису, но и к собственной продукции.

Каждое помещение украшают фотографии счастливых увлеченных детей, ведь слоган Procter & Gamble «Touching Lives Improving Life» («Касаясь жизни, улучшаем жизнь») подчеркивает стремление компании улучшить жизнь потребителей. Использование детских фотографий отражает такой дизайнерский принцип, как «baby-face bias», основанный на врожденных человеческих инстинктах. Детское лицо связывают с беспомощностью и чистотой [3]. Так компания формирует положительное впечатление в глазах потребителей и гостей офиса. Во внутренней части подвесной конструкции в зоне ресепшен расположены изображения знаковых мест Москвы, что отражает принадлежность данного офиса России и направленность его работы на российскую аудиторию потребителей (рис. 3).



Рис. 3. Интерьер входной группы офиса Procter & Gamble

В интерьерах используется фирменная палитра P & G — белый и синий цвета, а также добавлены нежный салатовый, серый и темно-красный. Дерево в отделке напольных покрытий указывает на экологичность, к которой стремится компания (рис. 4). Мебельные формы простые и комфортные, без излишеств и вычурности. Все помещения оснащены большими лампами дневного света, в зоне ресепшен, столовой и коридорах они тянутся по всему потолку. В конференц-залах это точечные светильники, встроенные в подвесные платформы над столами.



Рис. 4. Интерьер офисных помещений Procter & Gamble

#### Офис компании Ritter Sport в Москве

Московский офис компании по производству шоколада Ritter Sport существует уже давно, но лишь в 2013 г. его руководители задумались над реорганизацией данного пространства. Как говорит автор проекта дизайна интерьера офиса — Мария Степанова, сложнее всего было зонировать помещение, в котором компания работала уже несколько лет, а также проявить корпоративный дух компании в мебельных формах.

Все пространство офиса получилось светлым за счет использования основного цвета фирменной палитры Ritter Sport — белого. Им отделаны все стены и потолок, а в зоне ресепшен размещены матовые белые стеклянные перегородки (рис. 5). Все рабочие поверхности также белые. Акцентами являются рабочие кресла и стулья, выполненные в цветовой гамме ярких упаковок выпускаемого компанией шоколада, а также сами шоколадки, размещенные в стеклянных декоративных вазах (рис. 6). На стенах конференц-залов развешены старые фотографии с историей развития компании, а на стене в столовой — яркие изображения со сладостями.



Рис. 5. Входная группа офиса Ritter Sport



Рис. 6. Зал совещаний

Вся мебель — простая и без излишеств. Во всех помещениях использованы лампы дневного света на потолке. Офис также украшен декоративными зелеными растениями.

### **Офис Google, Лондон, Великобритания**

Одним из необычайных дизайнерских решений общественных пространств является штаб-квартира компании Google между улицами Holborn и Oxford St. в Лондоне. Ее дизайном занималась известная фирма «PENSON»<sup>3</sup>. Сначала у посетителя может сложиться впечатление, что сотрудникам просто некогда работать — на территории офиса располагается множество комнат отдыха, в том числе помещения с видеоиграми, конструктором лего, настольным теннисом и даже комнаты для массажа (рис. 7). Однако все это направленно прежде всего на высокую производительность, творчество и креатив сотрудников — один из главных принципов компании гласит, что «серьезным можно быть и без галстука». Каждый сотрудник может работать в удобном для него месте и свободно переходить из комнаты в комнату, что позволяет беспрепятственно генерировать идеи и обсуждать их с коллегами. Для фирмы важен результат и серьезный подход к делу, поэтому неформальная обстановка внутри должна делать рабочий процесс комфортным, быстрым, интересным и точным.



Рис. 7. Холл офиса Google

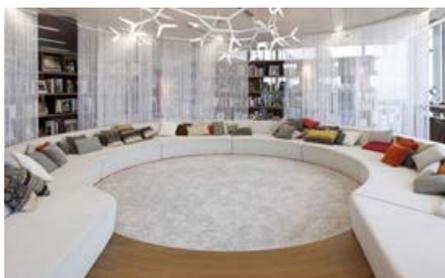


Рис. 8. Библиотека офиса Google «Лала»

Каждое помещение в офисе имеет свой уникальный дизайн и тематическое название. Например, комната для уединения называется «Нора хоббита» и представляет собой небольшое помещение с мягкой мебелью и овальной аркой, отсылающими к жилищам хоббитов в книгах. Библиотека «Лала» имеет округлую форму и наполнена естественным и искусственным освещением для комфортного чтения (рис. 8). В ее центре находится большой диван, повторяющий форму помещения, на котором сотрудники могут вместе изучать интересные их книги. Цветовая гамма библиотеки преимущественно белая с яркими цветными акцентами, что не отвлекает людей от главного — литературы.

Еще несколько интересных для рассмотрения помещений — это комнаты для совещаний. Одна из них имеет овальную форму с отделанными мягкими тканевыми панелями стенами и напоминает собой спасательный бункер. Даже входная дверь в эту комнату с ручкой в виде штурвала отсылает нас к спасательному люку. Другой зал для совещаний называется «Изголовье бабушкиной кровати». Он также не имеет прямых стен и углов и отделан мягкими

<sup>3</sup> Новый офис Google в Лондоне // BIG picture. 2017. URL: <https://bigpicture.ru/?p=316670>.

поверхностями в яркой бело-синей гамме (рис. 9). Все это обилие цвета в офисах обусловлено разноцветным фирменным логотипом «Google» и также отражает политику компании.



Рис. 9. Зал совещаний «Изголовье бабушкиной кровати»

Рассмотрев ряд примеров комнат Google-офиса, можно выявить основные дизайнерские приемы, с помощью которых руководство компании доносит философию своего бренда:

- Использование мягкой отделки, помогающее сделать работу более комфортной и создающее ощущение уюта в помещении. (Принцип «Погружение» [3]).
- Яркие цветовые решения, привлекающие внимание и говорящие о креативном подходе компании к своей работе, а также настраивающие на это сотрудников. (Принцип «Цвет» [3]).
- Отсутствие прямых углов, снижающее психологическое напряжение и создающее творческую атмосферу. (Принцип «Предвзятость в отношении контура» [3]).
- Открытая планировка, позволяющая создать в центре общественных зон уединенные уголки для работы, что делает рабочий процесс мобильным и эффективным — каждый сотрудник может отвлечься для обдумывания своих идей и психологической разгрузки либо же, наоборот, абстрагироваться от окружения для решения сложных трудовых задач. (Принцип «открытое пространство — зона уединения» [3]).

Таким образом, можно сказать, что офис компании Google является не просто местом работы, но и современным примером грамотного дизайнерского решения, с помощью которого фирма заявляет миру о своих принципах.

#### **Кампус Apple Park, Купертино, Калифорния**

Строительство нового главного офиса фирмы Apple началось в 2014 г., а разработка самого проекта — в 2009. «Я хочу оставить штаб-квартиру, которая несла бы на себе мою личную печать и служила воплощением ценностей компании на протяжении нескольких поколений», — сказал Стив Джобс о проекте кампуса своей фирмы. Действительно, здание Apple Park является примером инновационного технологического дизайна и воплощением в реальность философии компании.



Рис. 10. Стекланные стены Apple Park

Основным требованием Джобса к дизайну офисов было наличие открытой планировки, что, по его мнению, должно было заставить сотрудников работать слаженно и обмениваться идеями<sup>4</sup>. Все здания кампуса разбиты на небольшие секции-модули. Уникальность и простота использования — характерные черты продукции Apple, именно поэтому творческий процесс был и остается важным для фирмы, а сотрудникам самим необходимо иметь удобное для работы место.



Рис. 11. Открытые пространства Apple Park

«Я хочу, чтобы хорошая вещь была проста в дизайнерском исполнении и не требовала больших производственных затрат», — говорил Джобс<sup>5</sup>. Минимализм, характерный для продукции компании, нашел свое отражение и в дизайне штаб-квартиры фирмы. Наружные и внутренние стены полностью выполнены из гнутых стеклянных панелей, что создает иллюзию большого открытого пространства, наполненного светом (рис. 10). Прямые углы и лаконичные формы, а также функциональность всех присутствующих в интерьере элементов «убирают» из помещений все лишнее и не нужное для оптимальной работы. А обилие дерева и металлических вставок вызывает у сотрудников приятные визуальные и тактильные ощущения, что способствует продуктивной работе (рис. 11).

<sup>4</sup> Секреты Apple // ADME. 2017. URL: <https://www.adme.ru/tvorchestvo-reklama/sekrety-apple-411955>.

<sup>5</sup> Как устроен кампус Apple Park // iGuides.ru. 2017. URL: [https://www.iguide.ru/main/other/kak\\_ustroen\\_kampus\\_apple\\_park](https://www.iguide.ru/main/other/kak_ustroen_kampus_apple_park).



Рис. 12. Рабочие пространства Apple Park

Не менее значимым принципом компании является технологичность и в то же время экологичность. На территории кампуса и во дворе высажено множество зеленых насаждений, которые видно с любой точки здания благодаря стеклянным стенам и перегородкам. Это позволяет сотрудникам почувствовать единение с природой, отдохнуть и вдохновиться. Наличие уникальной системы вентиляции и энергоэффективность здания подчеркивают важность инноваций и прогресса, а также стимулируют у работников трудолюбие и желание совершенствовать себя и свою идею (рис. 12).

#### **Офис L'Oréal в Париже**

Компания L'Oréal — французский концерн, лидирующий на рынке парфюмерии и косметики, основанный более 100 лет назад в Париже. В 2018 году фирма открыла новый офис в столице Франции площадью 48 тысяч м<sup>2</sup>, рассчитанный на 2000 сотрудников<sup>6</sup>. Дизайном интерьера занимался знаменитый дизайнер Sarah Lavoine в сотрудничестве с фирмой по обслуживанию недвижимости «Mobilitis».



Рис. 13. Холл офиса L'Oreal

«Красота для всех, красота для каждого» — один из главных слоганов фирмы L'Oréal, который отражает принцип универсальности, пропагандируемый компанией<sup>7</sup>. Действительно, оказываясь в этом офисе, сразу становится понятно, что здесь «создают красоту».

<sup>6</sup> Штаб-квартира: офис L'Oréal в Париже // VC.ru. 2018. URL: <https://vc.ru/office/34756-shtab-kvartira-ofis-l-oreal-v-parizhe>.

<sup>7</sup> Наши ценности и этические принципы. URL: <https://www.loreal.com.ru/группа/кто-мы/наши-ценности>.

Стены, пол, потолок и большинство рабочих поверхностей выполнены в светлых бежевых, бледно-розовых и белых цветах, что символизирует чистоту продукции бренда, а так же открытость сотрудников компании. Яркие цветовые акценты синего, розового и желтого в мебельных формах символизируют яркость красок продукции L'Oreal (рис. 13). Даже рабочие места сотрудников имеют цветные вставки, чтобы дизайн не ассоциировался с чем-то рутинным (рис. 14).

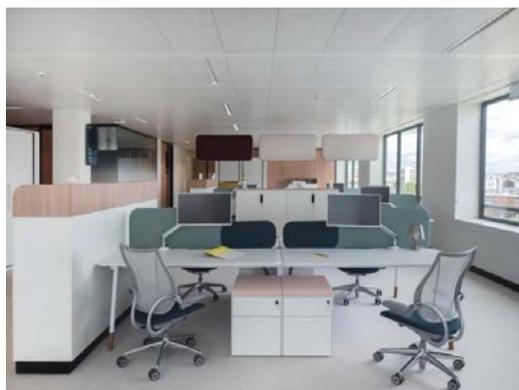


Рис. 14. Рабочие пространства офиса L'Oreal

Помимо цветов большое внимание в интерьере уделяется освещению: в зоне ресепшен стены украшены светодиодной подсветкой, а также присутствует большое количество дизайнерских люстр и точечных светильников (рис. 15). А обилие естественного освещения в рабочих помещениях добавляет уюта в помещении.



Рис. 15. Освещение офиса L'Oreal

Еще одним из главных принципов бренда является обязательство, то есть ответственность перед природой<sup>8</sup>. Фирма стремится создавать продукты и инновации, направленные на сохранение планеты. Именно поэтому все элементы интерьера офиса выполнены из натуральных материалов, таких как орех, бархат, лен и мрамор.

<sup>8</sup> Наши ценности и этические принципы. URL: <https://www.loreal.com.ru/группа/кто-мы/наши-ценности>.

Для сотрудников офиса предусмотрены зоны уединения и отдыха, а также имеется зона столовой и открытая терраса с живописным видом на реку.

Рассмотрев шесть мировых брендов разной направленности, можно сделать вывод, что выражение философии бренда через дизайн интерьера офисных пространств достигается через следующие приемы:

1. Пространственную философию (планировку — изменения ее размеров и объемов). Камерные пространства призваны отразить ориентированность фирмы на индивидуальный подход к каждому клиенту, к его особенностям и потребностям. Открытая планировка, напротив, обращает внимание на универсальный подход бренда к клиентам, широту взглядов и массовость производства товаров.

2. Пластическую философию. Используя в интерьере различную пластику, можно не только создать уникальный дизайн помещения, но и воспроизвести образы, характерные для бренда. Например, использование плавных форм может подчеркнуть такие качества бренда, как мягкость, гибкость или даже в некоторых случаях эксклюзивность продукта компании. Формы с острыми углами, напротив, чаще олицетворяют агрессию, целеустремленность и прямолинейность.

3. Философию цвета. Работа с цветовым восприятием, а также фирменными цветами бренда способны подчеркнуть направленность компании, ее принципы и уникальность.

4. Философию материалов. Применяя в интерьере характерные для бренда материалы, можно выделиться отношением фирмы к экологии, потреблению ресурсов и подчеркнуть особенности своей продукции.

5. Философию деталей. Наличие деталей в интерьере сильно влияет на восприятие помещения. Их минимальное количество может показать стремление бренда к простоте, чистоте и лаконичности. Обилие же элементов подчеркивает индивидуальный подход фирмы к каждому клиенту, ее внимание к качеству и удобству своей продукции.

Таким образом, «брендинг интерьера» является важным для каждой фирмы и находится сейчас на пике популярности в сфере дизайна.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Нэп Д.* Политика бренда. СПб. : Весь, 2009.
2. *Капферер Ж.-Н.* Бренд навсегда: создание, развитие, поддержка ценности бренда / пер. с англ. Е. В. Виноградовой; под. общ. ред. В. Н. Домнина. М. : Вершина, 2007.
3. *Лидвелл У., Холден К., Батлер Дж.* Универсальные принципы дизайна / Пер. с англ. А. Мороза. СПб. : Питер, 2014.

© *Тисленко А. А., Шаповалова Н. М., Матовников С. А., 2020*

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Тисленко А. А., Шаповалова Н. М., Матовников С. А.* Отражение философии бренда через дизайн интерьера офисных пространств. Брендирование интерьера // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 311—321.

*Об авторах:*

**Тисленко Анастасия Андреевна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [ameriell@inbox.ru](mailto:ameriell@inbox.ru)

**Шапвалова Наталья Михайловна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [shapnm@mail.ru](mailto:shapnm@mail.ru)

**Матовников Сергей Алексеевич** — канд. архит., профессор, зав. кафедрой дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [matovnikov4@yandex.ru](mailto:matovnikov4@yandex.ru)

**Anastasiya A. Tislenko, Natal'ya M. Shapovalova, Sergei A. Matovnikov**

**Volgograd State Technical University**

## REFLECTION OF PHILOSOPHY OF THE BRAND THROUGH INTERIOR DESIGN OF OFFICE SPACES. BRANDING OF THE INTERIOR

In this article design acceptances are considered of which firms express the principles, the purposes and tasks on the example of 6 brands of different orientation and their offices. The analysis of interior design is made from esthetic, ergonomic and psychological points. Reflection of philosophy of the company, its slogans and products in registration of working spaces is considered.

**Key words:** brand, interior branding, interior design, office space.

*For citation:*

Tislenko A. A., Shapovalova N. M., Matovnikov S. A. [Reflection of philosophy of the brand through interior design of office spaces. Branding of the interior]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 311—321.

*About authors:*

**Anastasiya A. Tislenko** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ameriell@inbox.ru](mailto:ameriell@inbox.ru)

**Natal'ya M. Shapovalova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [shapnm@mail.ru](mailto:shapnm@mail.ru)

**Sergei A. Matovnikov** — Candidate of Architecture, Professor, the Head of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [matovnikov4@yandex.ru](mailto:matovnikov4@yandex.ru)

УДК 621.311.24

**С. Д. Стрекалов<sup>а</sup>, Л. П. Стрекалова<sup>б</sup>, С. С. Гришин<sup>в</sup>**

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

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный аграрный университет*

<sup>в</sup> *Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском*

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ГИБРИДНОГО ВЕТРО-СОЛНЕЧНОГО ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВОЛНОВОГО ТИПА**

В статье представлены технологии энергоснабжения от возобновляемых источников энергии, существующие разработки совмещенной генерации. Показаны перспективы получения возобновляемой ветровой и солнечной энергии для региона с достаточно высокими показателями инсоляции и ветровому балансу. Предложена автоколебательная система волнового типа с увеличенной площадью ометаемой поверхности, конструктивные особенности гибридного совмещения ветропреобразователя с преобразователем потока солнечной энергии. Показано повышение надежности поступления вырабатываемой возобновляемой ветро-солнечной энергии от гибридного преобразователя волнового типа при его экологичности и простоте эксплуатации.

**Ключевые слова:** экология, гибридные преобразователи ВИЭ, ветроэнергетика, ветродвигатель волнового типа, солнечные преобразователи.

По мере развития современной экономики мировое сообщество сталкивается с проблемой дефицита энергии, заставляющей осваивать новые месторождения традиционных энергоносителей, одновременно вести поиск альтернативных источников. В свое время П. Л. Капица высказывался, что «...основным фактором, определяющим развитие материальной культуры людей, является создание и использование источников энергии». Он обосновывал важность и значение фундаментальных исследований процессов получения, преобразования и консервирования энергии [1].

Экспоненциальный рост мирового энергопотребления, обеспечивающийся в основном за счет использования углеродсодержащего топлива, ведет к росту антропогенных потоков тепловых и углеродных эмиссий в атмосферу. Известный ученый — климатолог, академик РАН М. И. Будыко еще пятьдесят лет назад отмечал влияние антропогенной деятельности человека на климат [2]. Рост выбросов парниковых газов ведет к нарушению баланса соотношений компонентов в климатической системе, сказывается на усилении глобального влияния на климатические изменения [3].

В Распоряжении Правительства Российской Федерации от 23 августа 2003 г. № 1234-р утверждена Энергетическая стратегия России до 2020 г. и пролонгирована до 2030 г., где уделяется большое внимание необходимости использования ВИЭ, подчеркивается важность снижения экологической нагрузки от деятельности топливно-энергетического комплекса. То есть использование возобновляемой энергии в обеспечении общего энергобаланса мотивируется и энергетической независимостью, и экологическими факторами.

Необходимо отметить также то, что, как указывал академик Д. С. Стребков, «...направление распространения и использования возобновляемых ис-

точников энергии возможно при проектировании пространственно-архитектурных композиций, которые являются солнечными фасадами или солнечными крышами зданий, ферм, торговых сооружений» [4].

Таким образом, перспективность возобновляемой энергетики прогнозируется необходимостью не только снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, но и способствующих восстановлению гармонического баланса между потребителем и природой за счет использования технических разработок, органически вписывающихся в экосистемы.

Наибольшее распространение в мире получили конструкции крыльчатого ветрогенератора с горизонтальной осью вращения и ортогональной конструкции (карусельные), т. е. с вертикальным расположением оси вращения [5]. Им свойственны определенные недостатки: необходима высокая башня, что усложняет их эксплуатацию, лопасти сложны в изготовлении и дороги. Им присущи экологические проблемы, обусловленные шумом лопаток рабочего колеса, воздействующего на центральную и вегетативную нервную системы [6]. Поэтому в достаточно широких масштабах ведутся исследования аэродинамики крыльчатых конструкций и лопастных ветропреобразователей в том числе как наиболее распространенных в ветрогенерации по снижению степени шумового давления при эксплуатации [7].

Среднестатистические скорости ветра в течение года носят переменный характер. В теплый период (с апреля по октябрь) на севере области преобладают северные и северо-восточные ветра, на юге — южные и юго-западные. При этом максимум скорости (до 5,6 м/с) приходится на зимние месяцы (ноябрь — февраль), минимум — до 3,6 м/с в июле (рис. 1). Средняя скорость ветра составляет 3,1...4,4 м/с [8].

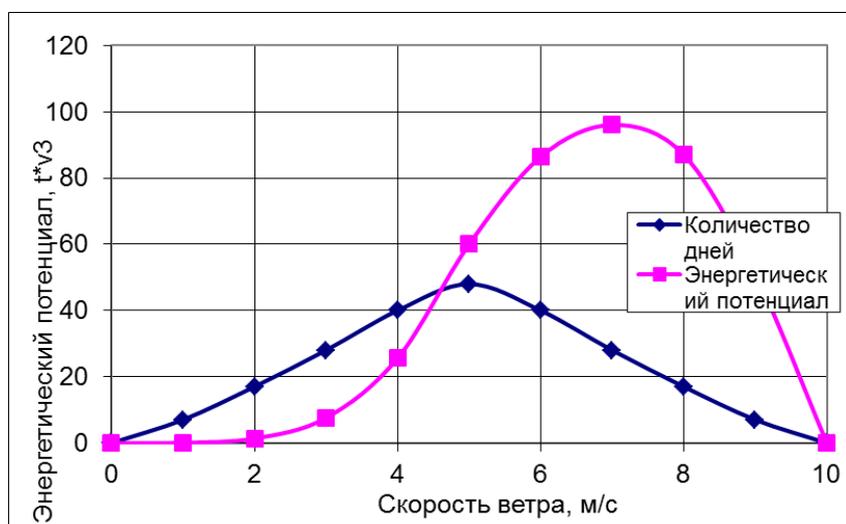


Рис. 1. Ветровой энергетический потенциал региона

Волгоград находится в зоне со средней годовой продолжительностью солнечного сияния более 2200 часов с достаточно высоким показателем средней плотности потока энергии солнечного излучения (солнечной постоянной), что является основанием для использования этого вида энергии.

Продолжительность дня с наиболее интенсивным солнечным излучением, высота солнца над горизонтом в полдень и годовой ход суммарной радиации указывают на достаточно высокие гелиоэнергетические показатели для региона и путь перспектив применения солнечной энергии.

Таблица 1

Высота солнца в Волгограде (град) на 15-е число каждого месяца

Время, ч-мин.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6:30			3,2	12,1	18,8	22,2	20,9	15,5	7,3			
9:30	12,4	19,8	28,2	39,9	47,5	51,1	49,7	43,7	34,2	24,0	15,0	10,5
12:30	19,6	27,7	38,5	42,1	59,3	63,9	62,1	54,8	43,9	32,4	22,4	17,6
15:30	5,8	12,7	21,8	31,5	38,4	41,6	40,6	28,2	25,2	16,7	8,2	4,2
18:30				2,4	9,2	12,6	11,4	5,8				

Приведенный энергетический потенциал показывает на относительное годовое формирование возобновляемой энергии региона в течение года, где показано преобладание солнечного потенциала в летний период, ветрового — в зимний период (рис. 2).

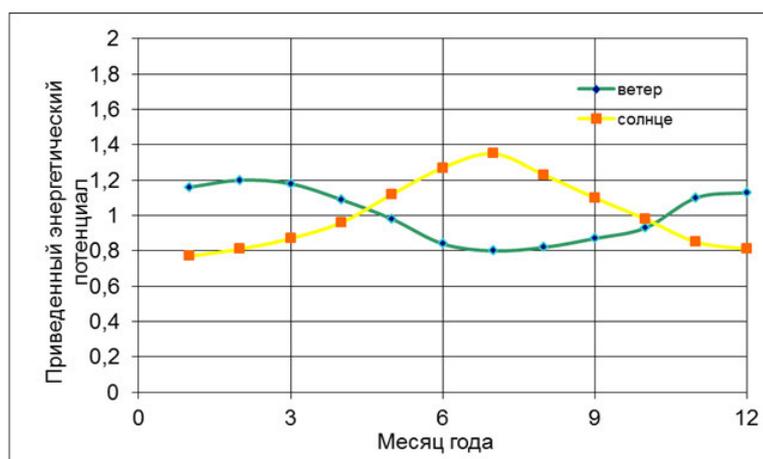


Рис. 2. Приведенный энергетический (солнечный + ветровой) потенциал

Примером решения вопроса увеличения ометаемой поверхности являются разработки ветродвигателей волнового типа, принцип действия которых основан на взаимно дополняющих взаимодействиях базовой и консольной ветроприемной поверхностей (осцилляторов), имеющих фазовое смещение, обусловленное наложенной кинематической связью, вызывающей автоколебательное движение системы осцилляторов, с ветровым потоком [9—12]. Волновое движение передается на приемный механизм и может быть использовано или как прямое возвратно-поступательное движение, или может быть преобразовано во вращательное. При этом угол атаки осцилляторов не столь значительно отклоняется от 90 градусов, что повышает процент использования площади ветроприемной поверхности (рис. 3).

Работоспособность ветропреобразователя волнового типа проводилась на экспериментальных моделях ветродвигателей волнового типа с солнечной панелью, закрепленной на ветроприемной поверхности (размер моделей до 1 м) в потоке воздуха (скорость воздушного потока с числом Маха в диапазоне 0,02...0,1).

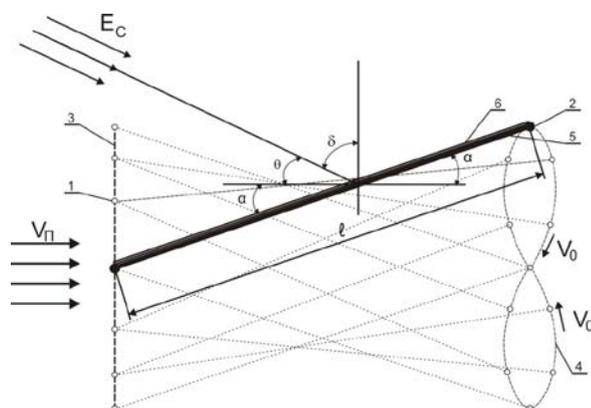


Рис. 3. Гибридная поверхность (колебания вдоль направления потока ветра): 1 — базовый осциллятор; 2 — пульсирующий осциллятор; 3 — траектория движения базового осциллятора; 4 — траектория движения пульсирующего осциллятора; 5 — ветроприемная поверхность; 6 — солнечная панель

Проведенные экспериментальные исследования по обтеканию макета волнового ветродвигателя воздушным потоком позволили выявить диапазон скоростей воздействующего потока, в котором эффективность преобразования энергии потока в энергию колебаний ветроприемной поверхности оптимальна. Установлено, что при рассмотренном числе Рейнольдса, соответствующем обтеканию воздухом ветроприемной поверхности экспериментальной модели шириной 0,07 м (скорость потока 21,4 м/с), преобладающую роль играют вихри, сходящие с острых кромок ветроприемной поверхности, период схода которых в несколько раз меньше полного периода колебаний (рис. 4).

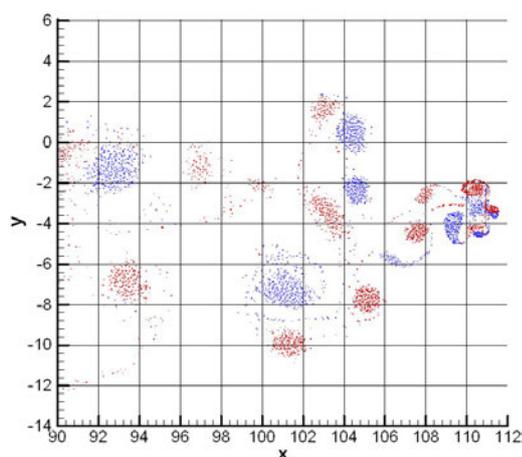


Рис. 4. Вихревая картина обтекания ветроприемной поверхности потоком среды (для числа  $Re = 333$ )

Частота и интенсивность формирования вихрей при сходе с кромок ветроприемной поверхности влияют на характеристики эффективности использования энергии потока ветра. Согласно представлениям вихревой картины сход вихрей наблюдается равномерным со всей ометаемой поверхности. Этот показатель конструктивной особенности ветропреобразователя волнового типа выгодно отличает его в экологическом плане от лопастных ветропреобразователей, у которых сход вихрей наблюдается неравномерным с концентрацией их на периферии ометаемой поверхности, что приводит к увеличению турбулентности энергетического потока.

Конструктивная особенность ветропреобразователя волнового типа позволяет увеличить ометаемую поверхность, что способствует усилению «кромочных» вихрей, влияющих на увеличение мощностных характеристик ветропреобразователя.

Конструктивная особенность ветродвигателей волнового типа позволяет без особых затруднений расположить солнечные панели на ветроприемной поверхности, что повышает надежность поступления вырабатываемой энергии гибридного преобразователя при его экологичности и простоте эксплуатации. На его выходные энергетические показатели положительное влияние будут оказывать дополнительное охлаждение и самоочищение от пыли солнечных элементов, расположенных в рабочем ветровом потоке, что повышает эффективность фотопреобразования. Совмещение двух источников возобновляемой энергии позволит увеличить суммарную выработку энергии с единицы площади ометаемой поверхности гибридного преобразователя волнового типа.

#### **Выводы:**

1. основополагающим фактором развития экономики является энергообеспеченность производства. Важность снижения антропогенных тепловых и углеродных эмиссий в атмосферу видится в поиске альтернативных видов энергии, к которым относятся солнечная и ветровая энергии как наиболее популярные и распространенные, имеющие тенденцию роста рентабельности и конкурентоспособности.

2. Для Волгоградского региона с достаточно высоким ресурсом солнечной и ветровой энергий показаны перспективы получения возобновляемой энергии. Ветро-солнечный потенциал возобновляемой энергии может быть использован за счет разработанной конструкции гибридного ветропреобразователя волнового типа, кинематическая схема которого позволяет повышать мощностные характеристики ветропреобразователя с увеличением ометаемой поверхности.

3. Конструктивные особенности ветропреобразователя волнового типа позволяют располагать гибкие солнечные панели на ветроприемной поверхности, что повышает надежность поступления вырабатываемой энергии гибридного преобразователя при его экологичности и простоте эксплуатации.

4. На эффективность фотопреобразования положительное влияние будет оказывать возможность расположения солнечных панелей в рабочем ветровом потоке, способствующее притоку солнечной инсоляции за счет самоочищения панелей от пыли и повышению КПД преобразования за счет снижения температурного режима их работы. Совмещение двух источников возоб-

новляемой энергии позволит увеличить суммарную выработку энергии с единицы площади ометаемой поверхности гибридного преобразователя волнового типа.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Капица П. Л.* Энергия и физика : доклад на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР, Москва, 8 октября 1975 г. // Вестник АН СССР. 1976. № 1. С. 34—43.
2. *Бутыко М. И., Винников К. Я.* Глобальное потепление // Метеорология и гидрология. 1976. № 7.
3. *Чернокульский А.* Изменение климата, причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН. 2018.
4. *Стребков Д. С.* Развитие экологически чистых технологий возобновляемой энергетики // Вестник РАЕН. 2009. № 1. С. 57—67.
5. *Твайделл Дж., Уэйр А.* Возобновляемые источники энергии. 1990. 391 с.
6. *Брусилковский И. В.* Аэродинамика и акустика осевых вентиляторов // Труды ЦАГИ. Вып. 2650. М. : ЦАГИ, 2004.
7. Horizontal Axis Wind Turbine Blade Design Methodologies for Efficiency Enhancement — A Review / Sh. Rehman, Md. Mahbub Alam, Luai M. Alhems, M. Mujahid Rafique // Energies. 2018. Vol. 11. Pp. 506.
8. *Коняшин М. С.* Климат Волгоградской области и особенности его формирования. ВолГУ, 2016.
9. К вопросу создания экологически эффективного волнового автоколебательного ветродвигателя / С. Д. Стрекалов, С. С. Гришин, А. В. Пивченко, А. С. Стрекалова // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 4. С. 61—63.
10. *Strekalov S. D., Strekalova L. P.* Eco-Friendly Wave-Type Wind Transformers : International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. 3—4 Oct. 2018 Vladivostok, Russia.
11. Theoretical substantiation for creating wave wind turbines for ecological and technological safety / S. Strekalov, I. Tyutyshnikov, L. Strekalova, S. Pushenko // Espacios. 2018. Vol. 39. № 12.
12. *Стрекалов С. Д.* Аэродинамика волновых ветродвигателей : материалы XI Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам и прикладной механики. Казань, 20—24 августа 2015 г. С. 4381—4383.

© *Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П., Гришин С. С., 2020*

*Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Стрекалов С. Д., Стрекалова Л. П., Гришин С. С.* Конструктивные особенности и экологичность гибридного ветро-солнечного энергопреобразователя волнового типа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 322—328.

*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](mailto:strekalov_sergey@mail.ru)

**Стрекалова Любовь Петровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования и электрохозяйства предприятий АПК, Волгоградский государственный аграрный университет. Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26

**Гришин Сергей Сергеевич** — заведующий лабораторией, Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском. Российская Федерация, 404110, Волгоградская область, г. Волжский, пр-т Ленина, 69; [vfmei@vfmei.ru](mailto:vfmei@vfmei.ru)

---

**Sergei D. Strekalov<sup>a</sup>, Lubov' P. Strekalova<sup>b</sup>, Sergei S. Grishin<sup>c</sup>**

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

<sup>b</sup> *Volgograd State Agricultural University*

<sup>c</sup> *Volzhskii Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute,"*

## **CONSTRUCTION FEATURES AND ECOLOGICALITY OF A HYBRID WIND SOLAR WAVE TYPE ENERGY CONVERTER**

The article presents the technology of energy supply from renewable energy sources, the existing development of combined generation. The prospects of obtaining renewable wind and solar energy for regions with fairly high levels of radiation regime of insolation and wind balance are shown. A wave-type self-oscillating system with an increased swept surface area is proposed, design features of a wave-type wind transducer in combination with a solar energy flux converter. An increase in the reliability of the generation of renewable wind-solar energy from a hybrid wave-type converter with its environmental friendliness and ease of operation is shown.

**Key words:** ecology, hybrid renewable energy converters, wind energy, wave type wind turbine, solar converters.

### *For citation:*

Strekalov S. D., Strekalova L. P., Grishin S. S. [Construction features and ecologicality of a hybrid wind-solar wave type energy converter]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 322—328.

### *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\\_serгей@mail.ru](mailto:strekalov_serгей@mail.ru)

**Lubov' P. Strekalova** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Agricultural University. 26, Universitetskii Prospect, Volgograd, 400002, Russian Federation; [strekalov\\_serгей@mail.ru](mailto:strekalov_serгей@mail.ru)

**Sergei S. Grishin** — the Head of Laboratory, Volzhskii Branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute,," 69, Lenina Ave, Volzhskii, 404110, Russian Federation; [vfmei@vfmei.ru](mailto:vfmei@vfmei.ru)

УДК 711.4:004

**О. В. Бурлаченко, А. О. Бурлаченко, О. В. Оганесян**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ**

В условиях плотной застройки исторических центров городов при выборе тех или иных технологических решений, помимо их технико-экономической эффективности, следует руководствоваться и иными критериями. Одним из важнейших критериев принятия решений является влияние применения сравниваемых технологий строительства на окружающую застройку. Приоритетными направлениями разрешения оптимизационных задач должны стать современные высокотехнологичные решения, такие как BIM-технологии. С применением программного комплекса в Plaxis представлена расчетная схема для определения влияния строительства на окружающую застройку. Определены вертикальные перемещения фундаментов окружающей застройки. Введен обобщающий приведенный показатель, учитывающий дополнительные максимальные перемещения, максимальные разности осадок, крены попадающих в зоны влияния нового строительства зданий. С применением данного показателя предложена стохастическая модель выбора оптимальных технологических решений.

**Ключевые слова:** оптимальные технологические решения в строительстве, BIM-технологии, жизненный цикл, плотная городская застройка.

В условиях плотной застройки исторических центров городов проблема модернизации инфраструктуры должна решаться с учетом не только экономических, но и всех других (градостроительных, социальных, художественно-эстетических) аспектов. Решения, обусловленные экономическими основаниями, часто противоречат соблюдению остальных принципов. Приоритетными направлениями в разрешении данного противоречия должны стать современные высокотехнологичные решения, такие как BIM-технологии [1—3]. Это современные информационные технологии, которые позволяют создавать многомерную многопараметрическую модель объекта строительства, содержащую всю информацию о нем. Данная модель может использоваться не только для строительства, но и в дальнейшем для принятия оптимальных управленческих решений на протяжении всего жизненного цикла объекта вплоть до его утилизации [4, 5].

В настоящее время проектно-строительная отрасль и профессиональное сообщество сделали большой шаг в понимании основ информационного моделирования, и подошло время к использованию BIM с позиции эксплуатации. Этот этап является самым длительным в жизненном цикле объекта и может составлять 50 и более лет. Кроме того, именно он является самым затратным — суммарная стоимость расходов в несколько раз превышает капитальные затраты на строительство здания — а значит, не менее интересным с позиции оптимизации расходов. Внедрение BIM позволило принимать правильные решения на стадиях жизненного цикла — от инвестиций до эксплуатации и даже сноса. Опыт зарубежных исследователей [6—8] свидетельствует о необходимости введения в модели для выбора оптимальных технологических решений факторов, позволяющих оценить эффективность

рассматриваемых вариантов для всего жизненного цикла возводимого объекта, а не только для этапа строительства.

Технология BIM в проектировании основывается на создании виртуальной трехмерной модели здания, элементы которой обладают конкретными физическими свойствами, что позволяет построить виртуальное здание и просчитать все процессы, которые будут в нем происходить, комплексно решая инженерную задачу.

Одной из главных и сложных задач реализации BIM-технологий является адекватный выбор параметров оптимизации для принятия управленческого решения (достижения целевой функции) [9], а также построение модели жизненного цикла здания (комплекса зданий) как объекта управления.

В процессе строительства в исторических районах нужно обеспечить:

интенсивное использование территории;

сохранение охранительных и заповедных зон;

упорядочение структурно-планировочной организации внешней жилой среды в пределах макро- и мезоуровня.

В настоящее время в российском законодательстве утвердилась такая форма контроля, как мониторинг окружающей застройки (в соответствии с частью 1 статьи 6 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 г. № 1521 утвержден перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ № 384 предусмотреть в проектной документации необходимость проведения в процессе строительства проектируемого здания или сооружения мониторинга компонентов окружающей среды (в том числе состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации проектируемого здания или сооружения), а также состояний основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения проектируемого здания<sup>1</sup>.

Рассмотрим модель для определения влияния строительства на существующую застройку при производстве работ нулевого цикла в условиях плотной городской застройки. Выбору оптимальных технологических решений для таких условий посвящен ряд работ [10—12]. Однако все методики базируются на оценке сравниваемых решений только по технико-экономическим показателям.

Расчетная схема для определения влияния строительства на окружающую застройку выполнена в программном комплексе в Plaxis (рис. 1). С применением указанного программного пакета определены вертикальные перемещения фундаментов окружающей застройки (рис. 2). Подобные результаты были получены при применении 3-D проектирования в работе [13].

Применяя указанную методику, были определены значения следующих параметров влияния нового строительства на окружающие здания: дополнительное максимальное перемещение, максимальная разность осадок, крен здания.

<sup>1</sup> Геотехнический мониторинг и геотехнические расчеты. URL: <http://nsd52.ru/geotehnicheskij-monitoring>.

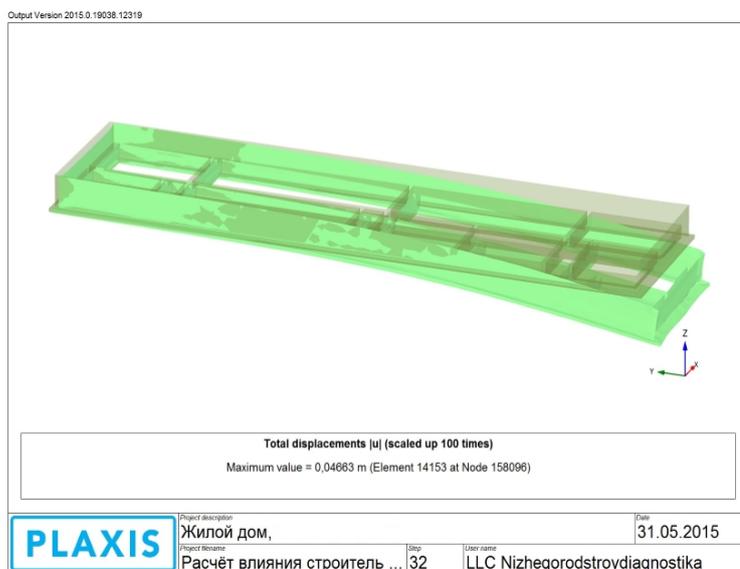


Рис.1. Распределение полных перемещений фундамента жилого дома, попадающего в зону влияния нового строительства

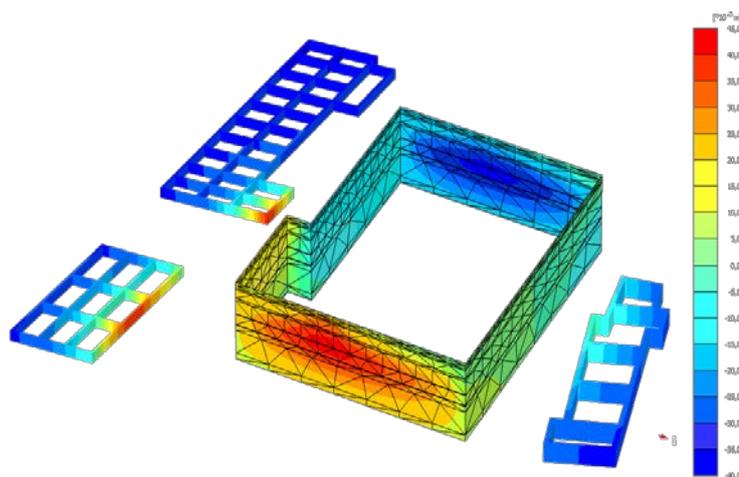


Рис. 2. Вертикальные перемещения фундаментов окружающей застройки при возведении здания и полном его нагружении

В работе [14] предложен критерий для выбора наиболее эффективных решений, который позволяет принимать оптимальное управленческое решение при строительстве объекта по критериям их технико-экономической эффективности и экологичности. Модель была развита в данной работе и адаптирована для принятия оптимального решения в условиях плотной городской застройки. С этой целью был принят обобщающий приведенный показатель, учитывающий дополнительные максимальные перемещения, максимальные разности осадок, крены попадающих в зоны влияния нового строительства зданий, полученных с применением программного обеспечения и схем рис 1 и 2. Помимо того, введение в модель стохастического аппарата для учета

влияния сравниваемых решений на протяжении жизненного цикла объекта и позволяет решить оптимизационную задачу в концепции ВМ.

$$K_{ij} = \min \left| \sum_{k=1}^m Z'_{ijk} \cdot \lambda_{ijk} \cdot P_{ijk} \cdot \delta_{ijk} \right|, \quad (1)$$

где  $K_{ij}$  — приведенный критерий, оценивающий эффективность  $j$ -го уровня (параметров)  $i$ -го решения;  $k$  — номер фазы (ситуации), возникающей с вероятностью  $P_{ijk}$  и вызывающей затраты  $Z'_{ijk}$ ,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$  — коэффициенты, выражающие количественную оценку интенсивности техногенного воздействия на человека и окружающую среду при производстве, эксплуатации и утилизации изделия, выполненного по рассматриваемой технологии, принимаемые по уровню концентрации вредных веществ, шумового воздействия возможности использования отходов при утилизации и т. д.,  $\delta_{ijk}$  — обобщенный параметр деформаций.

Данная модель положена в основу разработанного алгоритма принятия оптимальных технологических решений в строительстве, учитывающего декомпозицию жизненного цикла по фазам (рис. 3).

Применение информационных технологий, позволяющих осуществлять функциональную интеграцию строительного производства невозможно без технологического обеспечения и поддержки жизненного цикла строительного объекта, поскольку современный подход к понятию строительной компании предполагает рассмотрение ее самой по себе как сложного объекта.

Такое информационное обеспечение в качестве аппарата ВМ-технологий позволяет выбирать наиболее эффективное технологическое решение как на этапе проектирования здания, как объекта управления, так и корректировать принятые решения в течение всего жизненного цикла в зависимости от фактического состояния объекта.

По результатам расчета получено, что оптимальным вариантом производства земляных работ по критерию (1) является технологическое решение с использованием шпунтового ограждения Arselor AZ25 длиной 15 м. При разработке котлована с двумя уровнями распорных конструкций для свайного фундамента и конструктивных особенностей проектируемого здания значение влияния на существующую застройку не превышает предельно допустимых значений. Максимальное значение конечной осадки проектируемого здания составило 35 мм, что не превышает предельно допустимого значения для объектов нового строительства с полным железобетонным каркасом в соответствии с СП 22.13330.2011. Дополнительная осадка существующих зданий и сооружений также не превышает предельно допустимых нормативных значений.

В заключение можно отметить, что предложенная в данной работе модель позволяет учитывать технико-экономические, экологические факторы, а также позволяет оценивать эффективность рассматриваемых решений на протяжении жизненного цикла объекта. Она позволила определить оптимальное технологическое решение на примере производства работ нулевого цикла в условиях плотной городской застройки. Применение разработанной модели в качестве математического обеспечения ВМ-технологий позволяет выбирать оптимальное технологическое решение в условиях плотной городской застройки с учетом эффективности данного решения на протяжении всего жизненного цикла объекта строительства.

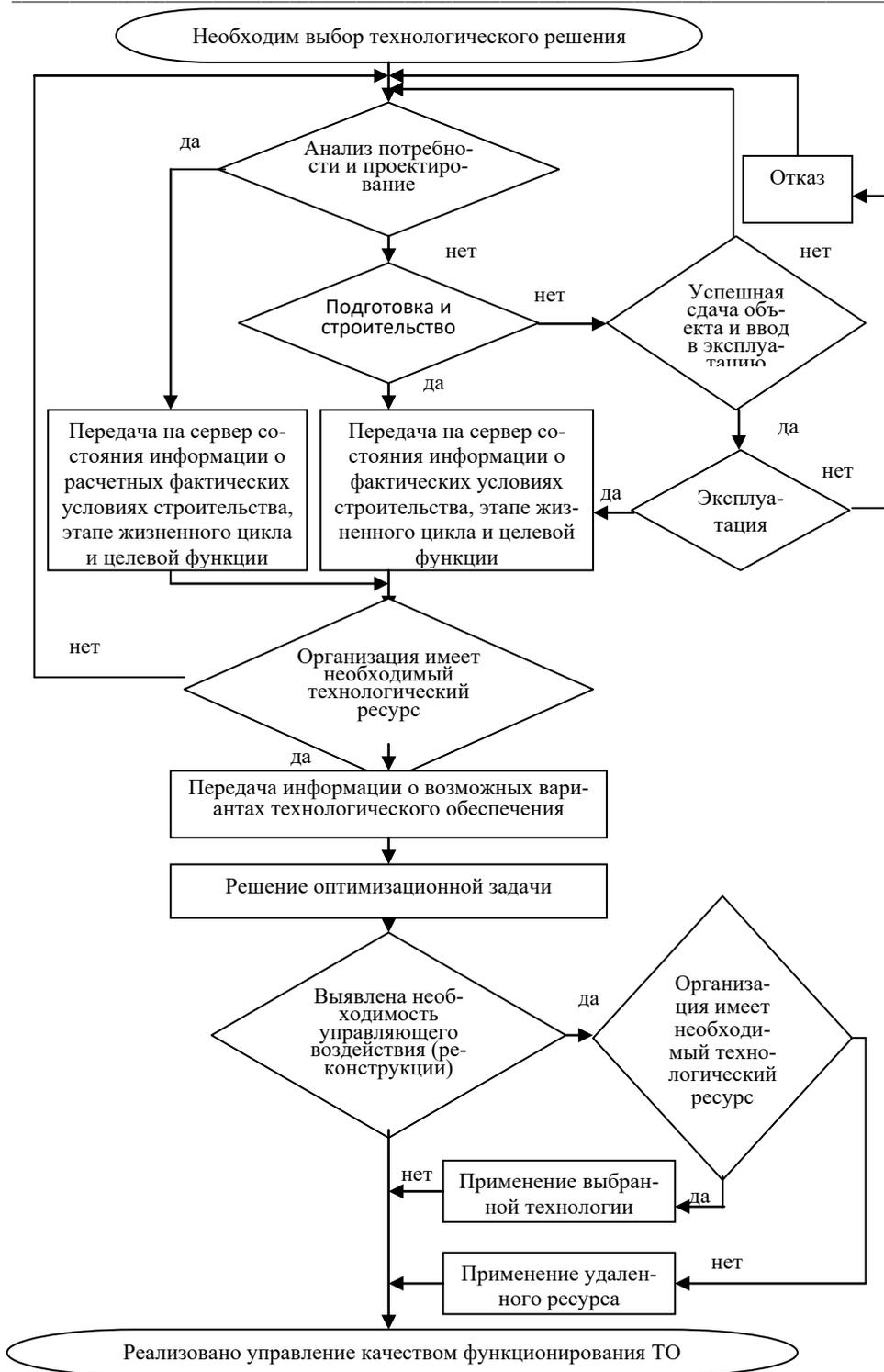


Рис. 3. Алгоритм реализации информационной модели строительной организации на принятии оптимальных технологических решений

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. BIM Handbook. Second edition / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. NJ : Wiley, 2011. 626 с.
2. Волков А. А. Комплексный мониторинг как средство поддержки процессов оперативного управления строительным объектом // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений : материалы Международной науч.-практич. конф. Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2001. Ч. 2. С. 50—53.
3. Чебанова С. А., Бурлаченко О. В., Поляков В. Г. Организационно-технологические решения строительства в стесненных городских условиях // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. 6 с. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4802>.
4. Новая пятилетка BIM — инфраструктура и умные города / В. П. Куприяновский, С. А. Синягов, Д. Е. Намиот, П. М. Бубнов, Ю. В. Куприяновская // International Journal of Open Information Technologies. 2016. № 8.
5. Основные принципы внедрения BIM // Investment and Innovation Management Journal. URL: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/Implementing%20a%20BIM%20Business%20Transformation-ru.pdf>. 2017. № 477.
6. BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Vol. 21. Pp. 250—271. URL: <http://www.itcon.org/2016/10>.
7. Barison M., Santos E. BIM Teaching: Current International Trends // Gestão & Tecnologia de Projetos. 2011. № 6(2). Pp. 67—80.
8. Bozoglu J. Collaboration and coordination learning modules for BIM education // Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Special issue: 9th AiC BIM Academic Symposium & Job Task Analysis Review Conference, Vol. 21. Pp. 152—163. URL: <http://www.itcon.org/2016/10>.
9. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В. Моделирование организации строительства конкретного объекта по экологическим параметрам // Вестник Московского государственного строительного университета. М. : МГСУ, 2017. Т. 12, Вып. 7(106). С. 797—803.
10. Закрепление грунтов в основании фундаментов зданий в г. Санкт-Петербурге посредством технологии «Jet Grouting» / С. Н. Сотников, А. И. Осокин, О. В. Горт, А. Г. Мацегора // Труды конференции «Реконструкция — Санкт-Петербург-2005». СПб. : СПбГАСУ, 2005. С. 247—251.
11. Улицкий В. М. Геотехническое обоснование реконструкции зданий на слабых грунтах. СПб. : СПбГАСУ, 1995. 146 с.
12. Юдина А. Ф. Реконструкция и техническая реставрация зданий и сооружений. М. : Академия, 2012. с. 315. URL: <http://nashol.com/2014021275754/rekonstrukciya-i-tehnicheskaya-restavraciya-zdaniy-i-sooruzhenii-udina-a-f-2012.html>.
13. Kean Huat Soon, Rod Thompson, Victor Khoo. Semantics-based Fusion for CityGML and 3D LandXML // 4th International Workshop on 3D Cadastres, 9—11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates.
14. Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В. Информационное обеспечение управления жизненным циклом строительных объектов в концепции BIM // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 217—227.

© Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В. Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 329—335.

Об авторах:

**Бурлаченко Олег Васильевич** — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, зав. кафедрой технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [oburlachenko@yandex.ru](mailto:oburlachenko@yandex.ru)

**Бурлаченко Александр Олегович** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1, [a.o.burlachenko@gmail.com](mailto:a.o.burlachenko@gmail.com)

**Оганесян Оганес Валерьевич** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1, [ogoganesyan@mail.ru](mailto:ogoganesyan@mail.ru)

**Oleg V. Burlachenko, Aleksandr O. Burlachenko, Oganés V. Oganésyan**

**Volgograd State Technical University**

## THE SELECTION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN CONDITIONS OF DENSE URBAN DEVELOPMENT BASED ON BIM-TECHNOLOGIES

In the conditions of dense building of historical centers of the cities at the choice of these or those technological decisions, besides their technical and economic efficiency, it is necessary to be guided also by other criteria. One of the most important criteria for decision-making is the impact of the compared construction technologies on the surrounding buildings. Modern high-tech solutions, such as BIM-technologies, should become priority areas for solving optimization problems. With the use of the software complex in Plaxis, a calculation scheme is presented to determine the impact of construction on the surrounding buildings. The vertical movements of the foundations of the surrounding building were determined. A generalizing given indicator is introduced, taking into account additional maximum displacements, maximum differences of sediments, rolls of buildings falling into the zones of influence of new construction. Using this indicator, a stochastic model for choosing optimal technological solutions is proposed.

**Key words:** optimal technological solution in construction; BIM-technologies; life cycle; dense urban development.

### *For citation:*

Burlachenko O. V., Burlachenko A. O., Oganésyan O. V. [The selection of optimal technological solutions in conditions of dense urban development based on BIM-technologies]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 329—335.

### *About authors:*

**Oleg V. Burlachenko** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Director for Scientific Work, the Head of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [oburlachenko@yandex.ru](mailto:oburlachenko@yandex.ru)

**Aleksandr O. Burlachenko** — Master's Degree student, Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [a.o.burlachenko@gmail.com](mailto:a.o.burlachenko@gmail.com)

**Oganés V. Oganésyan** — Master's Degree student, Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ogoganesyan@mail.ru](mailto:ogoganesyan@mail.ru)

УДК 69.003.13

**В. Н. Кабанов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕМА РЫНКА СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЬЯ**

Рассмотрен авторский подход к прогнозированию объемов строительства жилья при разработке соответствующих региональных государственных программ. Цель работы: построить информационную модель рынка ипотечного жилья. В качестве результата исследования представлена информационная модель для прогнозирования объемов строительства жилья. Полученные результаты обеспечивают получение научно обоснованного прогноза строительства жилья за счет средств ипотечных кредитов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** объем строительства жилья, ипотека, информационная модель, среднедушевые доходы населения, платежеспособность.

### **Актуальность**

Информация для построения моделей применяется не только для описания процессов производства товаров или оказания услуг. Информационное моделирование способно обеспечивать высокую степень достоверности прогнозов, а также определения количественных значений критериев, используемых для оценки эффективности развития социально-экономических систем. Применительно к рынку жилья информационное моделирование может использоваться при выполнении прогноза, например объемов жилищного строительства в регионе. При выполнении таких прогнозов особую важность приобретает достоверность определения платежеспособного спроса на жилье. Под платежеспособным спросом здесь понимается способность населения не только приобрести жилье из собственных средств, но и воспользоваться широким спектром инструментов, предлагаемых, как правило, финансовыми институтами (ипотека, аренда).

Опубликованные результаты исследований зарубежных авторов наибольшее внимание уделяют безопасности в сложившейся системе ипотечного кредитования, включая выпуск и обращение ипотечных ценных бумаг [1]. При этом исследуется влияние количества ипотечных заемщиков на стоимость ипотечных ценных бумаг [2], оценивается влияние стоимости ипотеки на стоимость жилья [3]. При исследовании вопросов взаимного влияния стоимости аренды и величины обязательств по ипотечным кредитам заслуживают внимания работы, рассматривающие:

- влияние объемов ипотечного кредитования на стоимость аренды жилья [4];
- методы оценки эффективности государственных финансовых инструментов, направленных на увеличение ипотечных заемщиков [5], в том числе при оказании социальной финансовой помощи [6, 7].

Представляется важным обратить внимание на вывод, к которому приходят зарубежные исследователи. Это вывод состоит в том, что государственная поддержка системы ипотечного кредитования должна осуществляться исключительно ипотечным заемщикам, а не кредитно-финансовым учреждениям [8]. Конечно, возможности кредиторов влиять на решения органов вла-

сти неспособимы с неорганизованной, пусть и достаточно большой, группой ипотечной заемщиков. В этой связи на практике помощь получают кредиторы, хотя результаты опубликованных исследований и здравый смысл утверждали необходимость оказывать содействие заемщику.

В Российской Федерации действует национальный проект «Жилье и городская среда<sup>1</sup>», Минстроем России разработан проект «Стратегии развития жилищной сферы РФ до 2025 г.», утверждена государственная программа РФ «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации<sup>2</sup>». Наличие перечисленных документов не уменьшает накала научной дискуссии. Одни авторы с воодушевлением восприняли увеличение объемов арендного жилья, предусмотренное проектом «Стратегии развития жилищной сферы РФ до 2025 г.» [9]. Другие критикуют государственную программу «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» за недостаточное внимание к арендному жилью и стимулированию спроса на жилье со стороны граждан [10]. Третьи указывают на необходимость привлечения Агентства по ипотечному жилищному кредитованию (АИЖК) к созданию доходных домов [11].

Помимо критики документов, разрабатываемых и утверждаемых федеральным центром, российские исследователи отмечают необходимость оценки экономической эффективности участия государственных финансов в реализации программ, направленных на увеличение объемов жилищного строительства [12], расширения форм удовлетворения потребности в жилье [13]. Опубликованные результаты исследований подтверждают актуальность научного поиска при построении моделей спроса на жилье [14], при доказательстве существования зависимости объемов ипотечного кредитования от величины реальных доходов населения [15]. К числу наиболее значимых факторов, оказывающих существенное влияние на рост объемов жилищного строительства, относят платежеспособный спрос и стоимость ипотечных кредитов [16], а также действующую систему налогообложения [17].

#### **Цель и задачи исследования**

Отсутствие утвержденных документов федерального уровня, направленных на стимулирование и развитие рынка арендного жилья, позволяет на первом этапе не учитывать потенциальные возможности, существующие для строительства арендного жилья. На этом основании цель работы состоит в построении информационной модели для оценки потенциала строительства жилья в регионе, основанной на действующих программах ипотечного кредитования. Для достижения цели решались следующие научные задачи:

1. Построить информационную модель, отражающую зависимость условий ипотечного кредитования (процентная ставка и продолжительность кредитования) от среднедушевых доходов населения региона.

2. На основании формирования различных сценариев, задаваемых условиями ипотечного кредитования, выполнить прогноз потребности в объемах жилищного строительства.

<sup>1</sup> Утвержден президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12. 2018.

<sup>2</sup> Утверждена Постановлением Правительства РФ № 1710 от 30.12.2017 (в ред. от 11.09.2019).

### Методы исследования

При выполнении исследований в качестве исходной информации использованы данные статистических наблюдений, ежегодно публикуемые государственной службой статистики РФ. Применялись известные алгебраические уравнения для вычисления ежемесячных обязательств по аннуитету, а также другие простейшие уравнения.

При построении графиков изменения количественных величин, например ежемесячные обязательства по ипотечному кредиту и среднедушевые доходы населения, приведены к 1 м<sup>2</sup> жилья. При приведении к одному основанию (м<sup>2</sup> жилья) применялись: значение стоимости 1 м<sup>2</sup> жилья, установленные на 2-е полугодие 2019 года для Волгоградской области приказом Минстроя России № 353/пр от 21.06.19<sup>3</sup>, площадь жилья на одного жителя Волгоградской области — 24 м<sup>2</sup>.

### Результаты исследования

Соглашаясь с важностью оценки платежеспособного спроса [16], в настоящем исследовании анализ спроса на жилье со стороны населения выполнялся на основании статистических данных, описывающих распределение численности населения по величине среднедушевых доходов населения в месяц<sup>4</sup> (рис. 1). На рисунке 1 показано распределение населения Волгоградской области, из которого следует, что интерес к ипотечным программам, так или иначе, существует не менее, чем у 75 % жителей региона. Однако величина платежеспособно спроса значительно ниже. Совершенно очевидно, что желание обладать недвижимостью на правах собственности должно быть подкреплено способностью заемщика выполнять ежемесячные финансовые обязательства по обслуживанию кредита. Такая способность определяется уровнем дохода, а в настоящем исследовании представлена показателем «Среднедушевые доходы населения», которые приводятся в месяц на одного жителя, включая детей и пенсионеров. Применение величины среднедушевых доходов снимает необходимость оценки количества семей, а также определения средней численности семей на территории Волгоградской области.

Исходя из методических пояснений<sup>5</sup>, а также с учетом жилой площади, приходящейся на одного жителя (24 м<sup>2</sup>), удалось вычислить величину денежных средств, которую каждая группа населения способна израсходовать на жилье по ипотечной программе. При вычислении этой величины пришлось учитывать условия банков, предъявляемые к заемщикам по доле ежемесячного дохода, направляемого на выполнение обязательств по кредитам. В отечественной практике такая доля, как правило, не превышает 30 % совокупного дохода семьи. Таким образом, величина платежеспособного спроса может быть вычислена как 30 % от результата деления среднедушевого дохода населения на площадь, приходящуюся на одного жителя (24 м<sup>2</sup>). Полученные значения приводятся в колонке 3 табл. 1.

<sup>3</sup> Табл. 4.30, с. 262. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : P32 Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.

<sup>4</sup> Табл. 4.15, с. 222. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : P32 Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.

<sup>5</sup> С. 283. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : P32 Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.

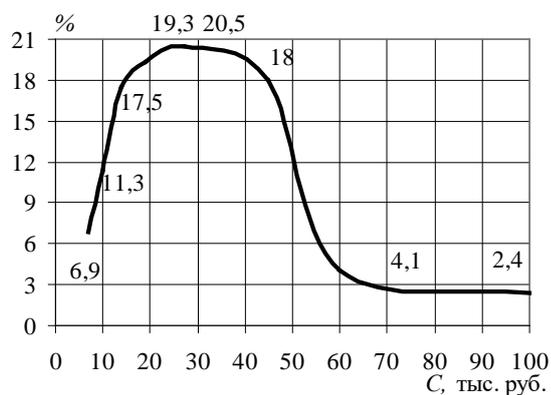


Рис. 1. Распределение населения Волгоградской области по величине среднедушевых доходов в месяц в 2017 г.<sup>6</sup>

Таблица 1

*Расчет платежеспособного спроса на ипотечные кредиты*

№ п. п.	Среднедушевые ежемесячные доходы населения, руб.	Предельная сумма расходов на обслуживание кредита	Предельные условия по ипотечному кредиту	
			t, мес.	i, % в год
1	2	3	4	5
1	7	87,5	528	1,0
			348	1,0
2	10	125,0	408	2,0
			540	3,0
			240	1,0
3	14	175,0	264	2,0
			312	3,0
			372	4,0
			516	5,0
			192	2,0
4	19	237,5	204	3,0
			228	4,0
			264	5,0
			312	6,0
			420	7,0
5	27	337,5	204	8,0
6	45	562,5	любое	любое
7	60	750,0	любое	любое
8	100	1250,0	любое	любое

Для выбора условий ипотечных кредитов учитывалась тенденция к снижению процентной ставки и росту продолжительности кредитования. В этой связи рассмотрены варианты по продолжительности от 180 до 600 мес. для

<sup>6</sup> Построено автором по данным для Волгоградской области из табл. 4.15, с. 222. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.

процентной ставки от 1 до 8 с шагом через 1 %. Несложная модель вычисления аннуитета позволяет обойтись только графическим представлением результатов выполненных расчетов (тонкие кривые линии на рис. 2 — верхняя соответствует годовой процентной ставке 8, а нижняя 1 %). Графики показывают изменение величины аннуитета (обязательств по обслуживанию кредитов или величину обязательств заемщика) в зависимости от изменения продолжительности кредитования для каждого варианта, обусловленного величиной процентной ставки (стоимостью кредитных ресурсов).

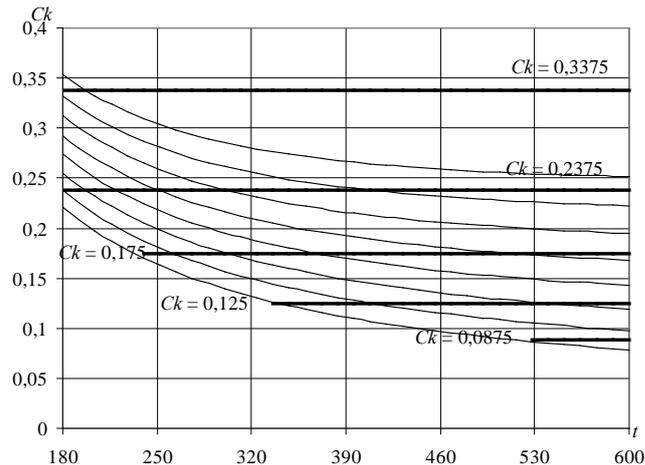


Рис. 2. Информационная модель платежеспособного ипотечного спроса населения Волгоградской области<sup>7</sup>

Совместное представление на графике (рис. 2) информационных моделей, описывающих ожидаемый ипотечный платежеспособный спрос и условия ипотечного кредитования, показывают характерные точки пересечения кривых (показывающих изменения обязательств в зависимости от продолжительности и процентной ставки) и прямых, параллельных оси абсцисс (доля ежемесячных среднедушевых доходов, которая может быть направлена на обслуживание кредита). Значение точек пересечения приводится в столбцах 4 и 5, табл. 2 для каждой группы населения. Слово «любой» обозначает, что для этой группы населения доступны все обозначенные условия ипотечного кредитования.

Практическое применение описанной информационной модели обладает наибольшим эффектом при прогнозировании объемов строительства жилья. Конечно, в представленной модели не показаны колебания, связанные с увеличением (например, инфляционный рост стоимости строительных материалов) или уменьшением (например, для малоэтажного быстровозводимого жилья) стоимости жилья. Здесь необходимо отметить, что увеличение стоимости приведет к тому, что кривые, описывающие изменения обязательств по ипотечному кредиту, будут подниматься вверх от оси абсцисс. При уменьшении стоимости жилья — обратная картина — приближение к оси абсцисс. Результатом такого движения будет изменение количества платежеспособ-

<sup>7</sup> Построено автором по данным табл. 2

ных ипотечных заемщиков. Существует целый ряд других факторов, оказывающих воздействие на величину прогнозируемого объема строительства жилья. Более детально применение модели описано в монографии [18].

Т а б л и ц а 2

*Прогноз объемов строительства жилья в Волгоградской области  
 в зависимости от условий представления ипотечных кредитов*

№ п. п.	Предельные условия по ипотечному кредиту		Доля населения, способная получить ипотеку, %	Население Вол- гоградской об- ласти, тыс. чел. <sup>8</sup>	Прогнозируемый объем строи- тельства жилья, тыс. м <sup>2</sup> в год
	не менее <i>t</i> , мес.	не более <i>i</i> , % в год			
1	2	3	4	5	6
1	528	1	75,5	2521	1903
2	348	2	68,6		1729
3	540	3	68,6		1729
4	372	4	57,3		1445
5	516	5	57,3		1445
6	312	6	39,8		1003
7	420	7	39,8		1003
8	204	8	20,5		517

На информационной модели, показанной на рис. 2, показатель *Ck* описывает величину финансовых обязательств, необходимых для обслуживания ипотечного кредита. Значение этой величины приводится в столбце 3 табл. 2. Необходимо подчеркнуть, что практика ипотечного кредитования предусматривает возможность выдачи финансовых ресурсов в объеме более 30 % от совокупного дохода работающих заемщиков. Однако варианты ипотечного кредитования не являются предметом рассмотрения в настоящей работе.

В качестве вывода к настоящей работе приведем пример определения прогнозируемого объема строительства жилья в зависимости от установленных условий ипотечного кредитования. В этом случае необходимо определить количество заемщиков, которые обладают возможностью воспользоваться ипотечным кредитом. Число заемщиков можно умножить на 1 м<sup>2</sup>, и получится ожидаемый объем строительства жилья. Расчеты, выполненные для территории Волгоградской области, приведены в табл. 2.

Предложенный подход позволяет получить прогноз объемов строительства жилья в регионе без привязки к конкретным поселениям. Распределение объемов строительства жилья по территории субъекта федерации выполняется в схемах территориального планирования, отражающих стратегические планы социально-экономического региона. Другими словами, условием применения модели является наличие утвержденного пакета документов стратегического планирования, установленного Законом РФ<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Население Волгоградской области приводится в табл. 2.1, с. 39. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018 : Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.

<sup>9</sup> Закон РФ «О стратегическом планировании в РФ».

Значения объемов ежегодного строительства жилья, приведенные в столбце 6, табл. 2, могут быть реализованы с привлечением финансовых ресурсов по ипотечным программам. При этом высока вероятность реализации такого жилья в течение первого года после сдачи объекта в эксплуатацию. Приведенные объемы строительства не смогут решить жилищную проблему за один год. Для полного удовлетворения потребуется не менее 20 лет при сохранении заданных темпов ежегодного строительства.

Еще одним важным условием получения достоверного прогноза ежегодных объемов жилищного строительства при помощи описанной информационной модели является достоверность демографического прогноза. Без научно обоснованной системы расселения в регионе или в его агломерациях невозможно выполнить привязку объемов жилищного строительства к конкретным поселениям.

Представленная информационная модель обеспечивает получение обоснованной величины ежегодного строительства жилья в результате варьирования следующими показателями:

- распределение населения по величине среднедушевых доходов в месяц;
- жилая площадь на одного жителя;
- стоимость 1 м<sup>2</sup> жилья;
- условия ипотечного кредитования (ставка процента и продолжительность кредитования).

К достоинству применяемых количественных показателей следует отнести наблюдение государственной службой статистики РФ за изменением величин этих показателей. Простота математического аппарата значительно расширяет аудиторию пользователей такой модели. Кроме этого, существует возможность весьма простой автоматизации вычислений при помощи приложений Microsoft Office.

### **Выводы**

Информационные модели могут эффективно применяться для прогнозирования объемов строительства в зависимости от стоимости финансовых ресурсов на рынке ипотечных кредитов. В результате моделирования алгебраической разницы величины ежемесячного среднедушевого дохода населения и суммы финансовых обязательств, необходимых для обслуживания кредита (выплаты по кредиту), обеспечена возможность группировать население по критерию, описывающему отношение к улучшению жилищных условий. Такая группировка предполагает разделение как минимум на три группы. Первая — состоит из жителей, которые способны самостоятельно без привлечения заемного капитала решать вопросы обеспечения и улучшения жилищных условий. Вторая — представляет собой граждан, которые без привлечения капитала не могут удовлетворять свои потребности в жилье. Третья — объединяет лиц с невысоким доходом, которые, как правило, остро нуждаются в жилье, но не способны привлечь ипотечный кредит для решения жилищных вопросов.

Важно заметить существенную роль государства, которое может стимулировать жилищное строительство, например, применяя механизм финансовой социальной поддержки лиц с невысоким среднедушевым доходом через субсидирование или компенсацию процентной ставки по ипотечным креди-

там. Результаты частичной компенсации (уменьшения) процентной ставки непременно приведут к росту объемов жилищного строительства, в том числе предназначенного для сдачи в аренду.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ahmad F., Hambly B. M., Ledger S.* A stochastic partial differential equation model for the pricing of mortgage-backed securities // *Stochastic Processes and their Applications*. 2018. Vol. 128. № 11. Pp. 3778—3806. DOI: 10.1016/j.spa.2017.12.002.
2. *Tsay J-T, Lin C-C, Yang J. T.* Pricing Mortgage-Backed Securities-First Hitting Time Approach // *International Real Estate Review*. 2018. Vol. 21. № 4. Pp. 419—446.
3. *Reed R. R., LaRue A., Ume E. S.* Mortgage recourse provisions and housing prices // *Regional Science and Urban Economics*. 2018. Vol. 73. Pp. 99—111. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2018.05.005.
4. *Gete P., Reher M.* Mortgage Supply and Housing Rents // *Review of Financial Studies*. 2018. Vol. 31. № 12. Pp. 4884—4911. DOI:10.1093/rfs/hhx145.
5. *Bajo E., Barbi M.* Financial illiteracy and mortgage refinancing decisions // *Banking & Finance*. 2018. Vol. 94. Pp. 279—296. DOI: 10.1016/j.jbankfin.2018.08.001.
6. *Grover C.* Developments in loaning social assistance: support for mortgage interest in Britain // *Poverty and Social Justice*. 2018. Vol. 26. № 3. Pp. 401—415. DOI: 10.1332/175982718X15244988622812.
7. *Agarwal S., Zhang Y.* Effects of government bailouts on mortgage modification / *Banking & Finance*. Vol. 93. Pp. 54—70. DOI: 10.1016/j.jbankfin.2018.05.010.
8. *Schelkle T.* Mortgage Default during the US Mortgage Crisis // *Money, Credit and Banking*, Vol. 50. № 6. Pp. 1101—1137. DOI: 10.1111/jmcb.12546.
9. *Кубасова Т. И., Каверзина Л. А., Макарова Г. Н.* Арендное жилье в России: предпосылки, проблемы и перспективы развития. *Baikal Research Journal*. 2018. № 4. С. 11.
10. *Селиверстов Ю. И.* Некоторые аспекты реализации национального проекта «Жилье и городская среда» // *Управление городом: теория и практика*. 2019. № 1. С. 67—76.
11. *Хованская Г. П., Самосудова Н. В.* Первоочередные задачи по совершенствованию законодательства в области жилищной политики и жилищно-коммунального комплекса // *Недвижимость: экономика, управление*. 2016. № 4. С. 6—11.
12. *Гузикова Л. А., Плотникова Е. В., Колесников А. М.* Оценка эффективности реализации жилищной политики в регионах России // *Научный журнал НИУ ИТМО*. 2017. № 4. С. 3—15.
13. *Селютин А. Г.* Формирование рыночного предложения в сфере строительства и реконструкции жилищного фонда России // *Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса*. 2016. № 3. С. 50—56.
14. *Скубрий В. С., Брянцева И. В.* Анализ развития арендного рынка в Хабаровском крае // *Ученые заметки ТОГУ*. 2016. № 4. С. 449—455.
15. *Кокин А. С., Осколков И. М., Трофимова Д. С.* Анализ современного состояния рынка ипотечного жилищного кредитования в России // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2018. № 5А. С. 127—142.
16. *Кредитование предприятий строительной отрасли, ипотечное жилищное кредитование: состояние и проблемы / В. Н. Горбунов, К. И. Старостина, Н. Н. Муралимова, А. А. Финаева // Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1-2. С. 24.
17. *Гасилов В. В., Резников Я. К.* Реализация контракта жизненного цикла при строительстве арендного жилья // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 1. С. 82—88.
18. *Пространственно-стратегическое развитие территории / В. Н. Кабанов, Д. Г. Донцов, Н. Г. Юшкова, Е. В. Михайлова*. Волгоград : ВолГАУ, 2018. 276 с.

© Кабанов В. Н., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Кабанов В. Н. Информационная модель объема рынка строительства жилья // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 336—344.

*Об авторе:*

**Кабанов Вадим Николаевич** — д-р экон. наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1,

**Vadim N. Kabanov**

**Volgograd State Technical University**

### **INFORMATION MODEL OF HOUSING CONSTRUCTION MARKET VOLUME**

The author's approach to forecasting the volume of housing construction in the development of relevant regional government programs is considered. Objective: to build an information model of the mortgage housing market. As a result of the study, an information model for forecasting the volume of housing construction is presented. The results provide a scientifically based forecast of housing construction at the expense of mortgage loans.

**Key words:** the volume of housing construction, mortgage, information model, per capita income, solvency.

*For citation:*

Kabanov V. N. [Information model of housing construction market volume]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 336—344.

*About author:*

**Vadim N. Kabanov** — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 624.012-14-16, 621.548

**Л. С. Сабитов<sup>а</sup>, Ю. Г. Коноплев<sup>б</sup>, О. В. Радайкин<sup>в</sup>**

<sup>а</sup> *ООО Инженерный центр «Энергопрогресс»*

<sup>б</sup> *Казанский федеральный университет*

<sup>в</sup> *Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КОМБИНИРОВАННАЯ БАШНЯ — ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЙ ФУНДАМЕНТ — ГРУНТ ОСНОВАНИЯ» ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Целью работы ставилось оценить эффективность работы системы «комбинированная башня — железобетонный фундамент — грунт основания» ветроэлектрической установки мощностью 1,5...2,0 МВт с помощью компьютерного моделирования в ПК «Ansys». Для этого в качестве аналога рассмотрена ветроэлектрическая установка (ВЭУ) из работы [1, 2], но в отличие от него в данной работе полость нижней части башни на высоту 20 м была заполнена бетоном класса В60. Второй отличительной особенностью ВЭУ было применение сборно-разборного фундамента, который изготавливается согласно патенту [3]. При моделировании учитывались пространственная работа элементов конструктивной системы и физическая нелинейность материалов, из которых они изготовлены. При этом для стали была использована теория прочности Мизеса, для бетона — Вильямса-Варнаке, для грунта основания — Друккера — Прагера. Сравнение результатов расчета с данными работы [4] показало, что разрушающая нагрузка башни увеличилась на 37 % за счет заполнения нижней ее части бетоном, что говорит об эффективности предлагаемого решения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** ветроэлектрическая установка, ветрогенератор, железобетонный фундамент, стальная башня, компьютерное моделирование.

Ветрогенераторы (ветроэлектрические установки, или сокращенно ВЭУ, в зарубежной литературе «wind turbines») служат для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим ее преобразованием в электрическую энергию. Они состоят из ветротурбины, которая раскручивается ротором с лопастями, электрогенератора, башни либо мачты и фундамента, установленного на грунт основания. Отличие башни от мачты в том, что и то и другое — высотное сооружение, но у мачты есть оттяжки, а у башни — нет. Наибольшее распространение в силу больших диаметров лопастей и невозможностью в связи с этим установления оттяжек получили башни.

Задачи, связанные с поиском оптимальных конструктивных форм строительных конструкций под ВЭУ, а также с разработкой методик их расчета, являются актуальными для энергетики и народного хозяйства страны в целом, поскольку их решение позволит получить экономию металла, уменьшить антропогенную нагрузку на природную среду, понизить себестоимость выработки электроэнергии.

В данной статье рассматривается совместная статическая работа элементов строительной системы «комбинированная башня — железобетонный фундамент — грунт основания». При этом под комбинированной башней в статье понимается высотное сооружение, состоящее из двух частей: нижней — трубобетонной, верхней — в виде тонкостенного стержня-оболочки замкнутого профиля. В обоих случаях в качестве оболочки выступает труба

со слабой конусностью. Анализ литературы показал, что целостная методика расчета такой системы на данный момент отсутствует. А при ее разработке наиболее полно следует учесть следующие факторы:

- физическую нелинейность свойств материалов;
- геометрическую нелинейность элементов системы (лопастей и др.);
- циклическую усталость материалов — стали и бетона;
- динамические эффекты;
- резонансные явления;
- трение между бетоном и стальной оболочкой, а также между бетоном и грунтом.

Аналитически описать влияние всех перечисленных факторов полностью пока невозможно, что отражено в существующих нормах на проектирование ВЭУ<sup>1</sup> и учебно-методической литературе [5]. Однако для этого можно воспользоваться мощным инструментом — компьютерным моделированием в ПК «Ansys». В статье [4] этот инструмент уже был нами применен для исследования совместной работы системы «стальная опора линий электропередач — фундамент — грунт основания». При этом в отличие от нее в рассматриваемой здесь системе учтены следующие особенности:

- ветровая нагрузка на ометаемую поверхностей вращающихся лопастей, важной характеристикой которой является уже не давление, а скорость ветрового потока;
- наличие бетона в нижней части башни;
- силы трения между стальной оболочкой и бетонным ядром.

Последнее два обстоятельства превращают нижнюю часть ствола башни в так называемую трубобетонную конструкцию, которая благодаря ряду преимуществ [6, 7] существенно увеличивает эксплуатационные свойства ВЭУ, включая прочность, надежность и долговечность. Использовать трубобетон в составе комбинированной башни ВЭУ, по всей видимости, здесь предлагается впервые.

Наряду с достоинствами есть у трубобетона и недостатки, которые тем не менее легко устранимы с минимальными дополнительными затратами. Наиболее значительным недостатком является сложность обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. Вследствие разницы в коэффициентах поперечной деформации бетона и стали ( $\nu_b \approx 0,18...0,25$ ,  $\nu_s \approx 0,3$ ) при таких условиях бетонное ядро и стальная обойма работают неэффективно. Для исключения этого недостатка трубобетона можно применить следующие решения (как отдельно, так и в сочетании): приварить на внутренней поверхности трубы-оболочки специальные стальные анкера; использовать для изготовления бетонной смеси расширяющийся безусадочный цемент; трубобетонную конструкцию сделать кольцевого сечения: с внешней и внутренней оболочкой из стальной трубы с заполнением пространства между ними бетоном.

<sup>1</sup> СТО 70238424.27.100.059—2009. Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. М. : Некоммерческое Партнерство «Инновации в электроэнергетике», 2009. 192 с.

СТО РусГидро 03.01.102—2013. Ветроэлектростанции. Основные требования, критерии выбора ветроэнергетического оборудования для ветроэлектростанций. М. : ОАО «РУСГИДРО», 2013. 100 с.

В качестве примера рассмотрим ВЭУ Acciona AW-82/1500 класса ИЭС ШВ на 1,5...2 МВт из [1, 2] — рис. 1.

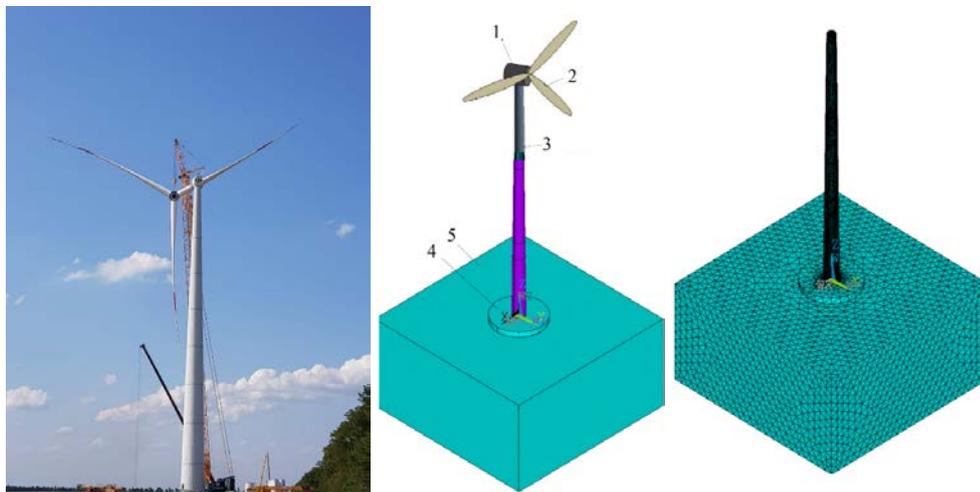


Рис. 1. Конструктивная схема (компьютерная модель в ПК «Ansys») ВЭУ на 2 МВт: 1 — гондола; 2 — лопасти ротора; 3 — башня; 4 — сборно-разборный фундамент; 5 — грунт основания

Установка имеет следующие характеристики: радиус ротора —  $R = 41$  м, ометаемая площадь —  $S = 5345$  м<sup>2</sup>, высота до оси ветроколеса —  $z_{hub} = 80$  м, высота до низа гондолы — 76,7 м (высота башни), масса каждой лопасти — 5,78 т (всего 3 шт.), масса ротора — 32,34 т, масса гондолы — 52,5 т; башня ВЭУ выполнена в виде тонкостенного стержня-оболочки замкнутого профиля, имеет слабую конусность и состоит из трех равных по высоте частей, соединенных фланцами, толщина стенки каждой части своя: нижней —  $t_1 = 30$  мм, средней —  $t_2 = 25$  мм и верхней —  $t_3 = 15$  мм, башня имеет диаметр сечения по внешнему периметру внизу —  $D_1 = 4,3$  м, наверху —  $D_2 = 2,6$  м. Оболочка башни изготовлена из высокопрочной стали С355. В отличие от аналога [1, 2] в данной работе полость нижней части башни на высоту 20 м заполнена бетоном класса В60. Для исключения выдавливания бетона вверх в процессе деформирования над его поверхностью выполнена стальная плита толщиной 50 мм и диаметром 3,0 м, которая жестко соединена со стенками оболочки башни.

Фундамент под башню принят массивным из монолитного бетона класса В25, армированного стальной арматурой. В плане фундамент круглого сечения.

Грунты основания в месте установки опор могут быть различными, примем наихудший вариант, который допускает СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»: тип грунта — глинистый, непросадочный, ненабухающий; коэффициент пористости — 0,95; модуль деформаций  $E = 8$  МПа; показатель текучести  $I_L = 0,5$ ; сцепление грунта  $c = 15$  кПа; угол внутреннего трения  $\varphi = 17^\circ$ ; расчетное сопротивление  $R_0 = 150$  кПа; коэффициент жесткости основания (коэффициент постели)  $k = 10$  МПа/м (Справочник проектировщика, под ред. А. А. Уманского, 1973. Т. 2. С. 307). При этом массив грунта в модели принят

габаритами  $60 \times 60 \times 30$  м, что, как показали расчеты, является достаточным для определения глубины сжимаемой толщи и исключения влияния краевых условий модели на НДС грунта непосредственно под фундаментом.

Нагрузки, действующие на конструкцию ВЭУ и принятые с учетом коэффициентов надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$  и ответственности сооружения  $\gamma_n = 1,0$ . В таблице 2 ГОСТ Р 54418.1—2012 прописаны 8 проектных случаев для расчета ВЭУ. Наиболее характерным является первый — «Выработка электроэнергии» — расчет с использованием модели нормальной турбулентности. Для сокращения объема вычислений рассмотрим только этот расчетный случай ( $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ ):

- Собственный вес оголовка:  $P_1 = 5,78 \times 3 + 32,34 + 52,5 = 102,2$  т (прикаладывается наверху).

- Собственный вес стальной оболочки башни:  $P_2 = 135$  т (равномерно распределяется по высоте и учитывается в программе автоматически при задании плотности материала и сил гравитации).

- Собственный вес бетонного заполнения нижней части башни:  $P_3 = 491$  т (равномерно распределяется по высоте и учитывается в программе автоматически).

- Скорость набегающего воздушного потока на высоте оси ветроколеса (для ВЭУ с горизонтальной осью вращения) —  $V_{hub} = 20$  м/с.

- Средняя скорость ветра —  $V_{ave} = 7,5$  м/с.

- Максимальная средняя скорость ветра (определяемая с интервалом измерения 10 минут и не превышающая своего значения в течении 50 лет) —  $V_{ref} = 37,5$  м/с.

- Скорость ветра при запуске —  $V_{in} = 3$  м/с.

- Скорость ветра при перезапуске —  $V_{out} = 20$  м/с.

- Экстремальная скорость порыва ветра (определяемая с интервалом измерения 3 секунды и не превышающая своего значения в течении 50 лет) —  $V_{e50} = 52,5$  м/с.

- Горизонтальная тяговая сила, вызванная ветровым потоком, набегающим на лопасти:  $F_t = \frac{1}{2} \rho V_{hub}^2 C_T \pi R^2 = 80,5$  т (вычислена при плотности воздуха

ха —  $\rho = \frac{353}{273 + t^{\circ}\text{C}} = 1,169$  кг/м<sup>3</sup>, расчетной температуре воздуха теплого периода года с обеспеченностью 0,95 —  $t = 29$  °С и коэффициенте надежности [2] —  $C_T = 0,64$  (при этом отечественные исследователи рекомендуют  $C_T = 1,4$  [3]).

- Модель нормального профиля ветра<sup>2</sup> [2] — профиль ветровой нагрузки по высоте сооружения (рис. 2, а):  $V(z) = V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^{\alpha} = 20 \left( \frac{z}{80} \right)^{0,2}$ , где  $z$  — вертикальная координата;  $\alpha$  — показатель степени,  $\alpha = 0,2$ .

<sup>2</sup> СТО 70238424.27.100.059—2009. Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. М. : Некоммерческое Партнерство «Инновации в электроэнергетике», 2009. 192 с.

• Соответствующий этой модели профиль распределения ветровой нагрузки на башню (рис. 2, б):  $F_d(z) = \frac{1}{2} \rho V(z)^2 C_x D(z)$ , где  $D(z)$  — переменный по высоте башни внешний диаметр ее поперечного сечения,  $D(z) = D_2 + (D_1 - D_2) \left(1 - \frac{z}{z_{hub}}\right)$ ;  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления для цилиндра, зависящий от числа Рейнольдса,  $Re(z) = \frac{\rho V(z) D(z)}{\mu} = 0 \dots 5,414 \cdot 10^6$ ,  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости воздуха, который в большей степени зависит от температуры  $t$ , °С, и в меньшей — от давления  $p$ , Па (обычно пренебрегают):  $\mu = \frac{3}{2} \cdot \frac{(273+t)^{\frac{3}{2}}}{395+t} \cdot 10^{-6} = 18,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Для коэффициента  $C_x$  на рис. 3, а, б показана более полная зависимость [8] и упрощенная [9]. Последняя пригодна для инженерных расчетов и далее принята за основу. При этом для упрощения в запас несущей способности примем  $C_x = 0,7 - \text{const}$ .

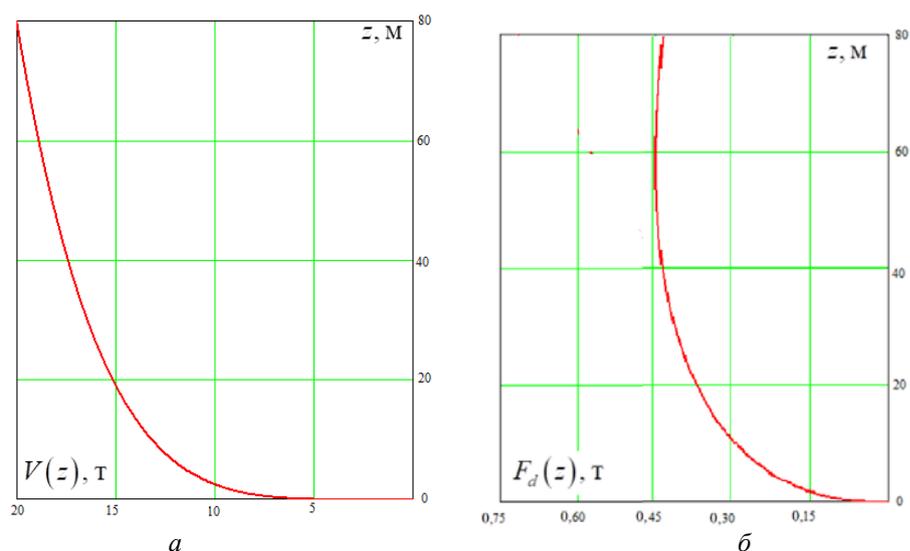


Рис. 2. Распределение скорости ветра  $V$  (а) и ветровой нагрузки  $F_d$  (б) по высоте

• Крутящий момент, возникающий из-за смены направления ветра (прикладывается сверху башни),  $M_{z,t} = F_t r_0 = 146 \text{ Т} \cdot \text{м}$ , где  $r_0 = 1,814 \text{ м}$  — осредненный по высоте башни внешний радиус ее сечения (принятая система координат и схема усилий показаны на рис. 4 согласно [5]).

• Гироскопический момент на гондолу (прикладывается сверху башни)  $M_{x,g} = \theta_R \omega_R \omega_n \approx 3m_b r_c^2 \omega_R \omega_n = 1290 \text{ Т} \cdot \text{м}$ , где  $\omega_R$  — текущая угловая скорость вращения ротора (ветроколеса) относительно оси  $x$ ,  $\omega_R = 16,1 \text{ об./мин} = 1,686 \text{ рад/с}$ ;  $\omega_n$  — угловая скорость вращения гондолы относительно оси  $z$ ,  $\omega_n = 1 \text{ об./мин} = 0,105 \text{ рад/с}$ ;  $\theta_R$  — полярный момент инерции ротора относи-

тельно его оси вращения. Для трехлопастного ротора определяется выражением:  $\theta_R = 3(\theta_b + m_b r_c^2) \approx 3m_b r_c^2$ , где  $\theta_b$  — момент инерции массы лопасти  $m_b = 5,78$  т, проходящий через центр масс перпендикулярно плоскости лопасти,  $r_c = \frac{R}{2}$  — расстояние от оси вращения ротора до центра масс лопасти,  $r_c = 20,5$  м.

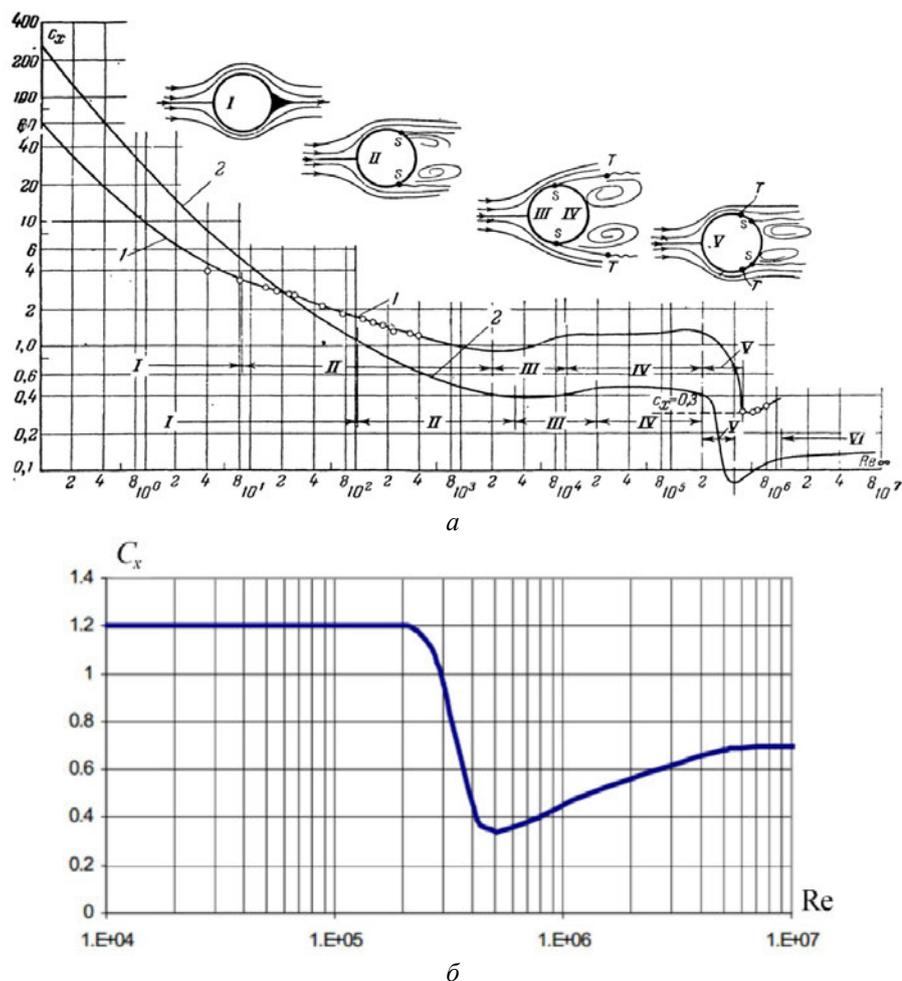


Рис. 3. Зависимости коэффициента лобового сопротивления от числа Рейнольдса: *a* — наиболее полная зависимость коэффициента лобового сопротивления для цилиндра 1 и шара 2 от числа Рейнольдса [9]; *б* — упрощенная зависимость  $C_x(\text{Re})$  для цилиндра [10]

- Центробежная сила, возникающая из-за дисбаланса массы ротора  $P_{cf} = m_R e_0 \omega_R = 11,2$  т, где  $m_R = 32,34$  т — масса ротора,  $e_0 = 0,005R = 0,205$  м — эксцентриситет.

- Моменты от центробежной силы  $M_{x,cf} = M_{z,cf} = P_{cf} l = 37$  т·м, где  $l = 3,3$  м — расстояние от оси ветроколеса до верха башни.

Рассматриваемая конструкция включает в себя элементы, образованные из материалов с качественно и количественно отличающимися физико-механическими свойствами. Для их моделирования в ПК «Ansys» были использованы соответствующие типы конечных элементов и законы деформирования. Их перечень представлен в таблице.

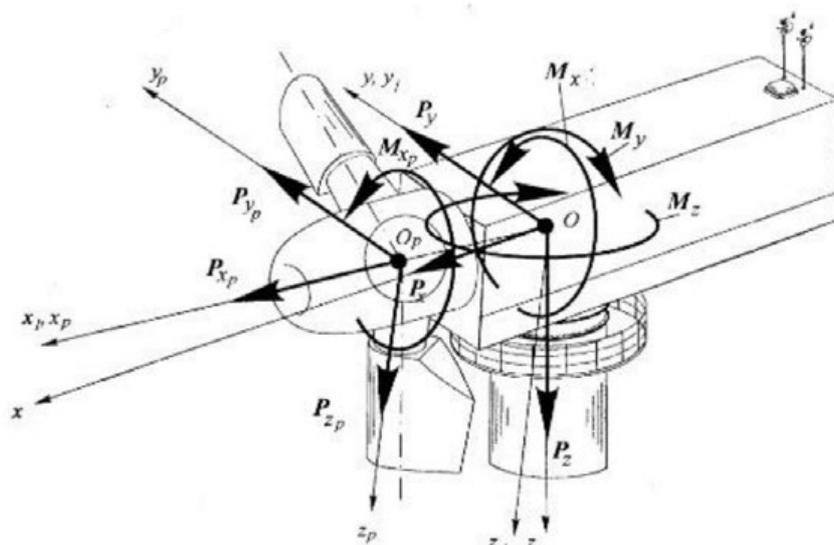


Рис. 4. Система координат в верхней точке башни и схема действующих усилий [5]

*К построению конечно-элементной модели*

Параметр КЭ-модели	Башня из стали и трубобетона	Железобетонный фундамент	Грунт основания
Геометрические размеры	В сечении круглая стальная труба переменного сечения, нижняя часть которой заполнена бетоном В60	Круг в плане диаметром 18 м, высотой 1,8 м.	Массив 60 × 60 × 30 (h) м
Тип конечного элемента	Shell 181 — для трубы; Solid 65 — для бетона; в зоне контакта целевая поверхность (бетон) — КЭ Target170, контактная поверхность (сталь) — Conta174	Solid 65	Solid 45
Закон деформирования	Двухлинейная диаграмма, кинематическое упрочнение с эффектом Баушенгера для трубы. Криволинейная диаграмма О. В. Радайкина [10] для бетона. В зоне контакта коэффициент трения 0,35, предельные деформации 15 %	Криволинейная диаграмма О. В. Радайкина [10]	Определяется теорией прочности
Теория прочности	Мизеса для трубы, Вильяма — Варнаке для бетона	Вильяма — Варнаке	Друккера — Прагера

На рисунке 5 представлены диаграммы деформирования материалов, используемые для создания модели.

Математические выражения, описывающие диаграммы рис. 2, а, б, приведены в статье [10]. В качестве закона деформирования для стали была принята билинейная диаграмма кинематического упрочнения (см. рис. 5, в). Закон предполагает, что на диаграмме « $\sigma$  —  $\varepsilon$ » сумма напряжений разного знака в процессе нагрузки-разгрузки всегда равна удвоенной величине предела текучести  $\sigma_y$ , то есть учитывается эффект Баушингера. Модель рекомендуется для упругопластических задач с малыми деформациями материала, подчиняющегося условию текучести Мизеса.

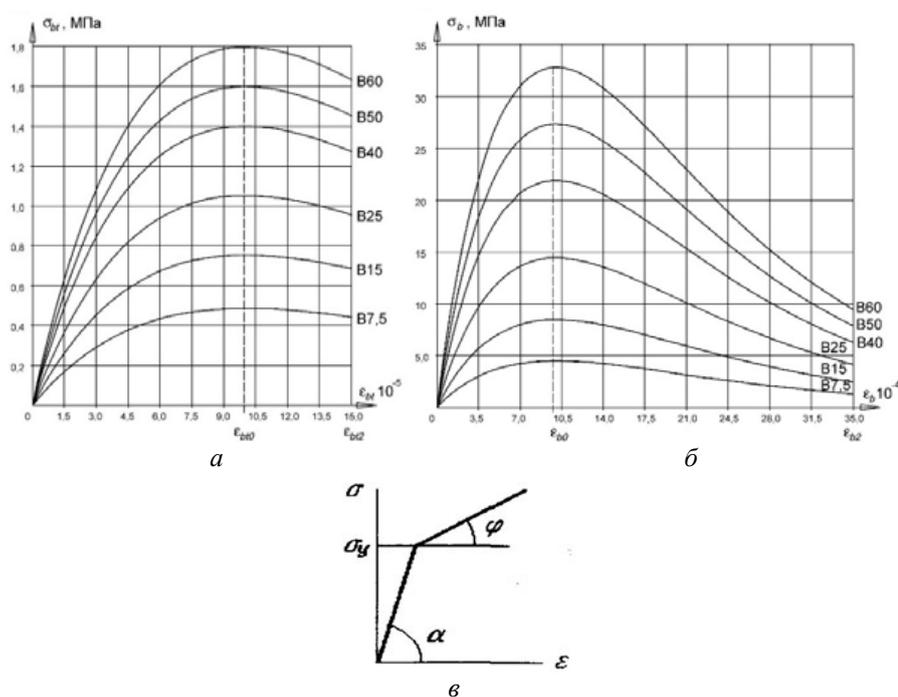


Рис. 5. Диаграммы деформирования материалов: а — криволинейная диаграмма О. В. Радайкина при растяжении [10]; б — то же, при сжатии; в — двухлинейная диаграмма, кинематическое упрочнение с эффектом Баушингера

Таким образом, физический закон деформирования тонкостенной оболочки описывался четырьмя параметрами: модулем упругости  $E = 206 \cdot 10^3$  МПа, касательным модулем  $E' = 75 \cdot 10^3$  МПа, пределом текучести  $\sigma_{yn} = 355$  МПа и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,3$ .

Для определения габаритов фундамента предварительно был выполнен расчет башни как жестко заделанной консольной стойки, то есть без учета фундамента и грунта основания:

$$N = P_1 + P_2 + P_3 + P_{cf} = 102,2 + 135 + 491 + 11,2 = 739,4 \text{ т};$$

$$M_x = M_{x,g} + M_{x,cf} + F_t z_{hub} + \int_0^{H_i} F_d(z)zdz = 1290 + 37 + 80,5 \cdot 80 + 1272 = 9039 \text{ т} \cdot \text{м}.$$

В результате были получены нагрузки на обрешку фундамента, по которым с использованием формул СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» вычислены требуемые габариты фундамента: 18×18 м, высота 1,8 м.

Результаты определения эквивалентных напряжений в башне показаны на рис. 6.

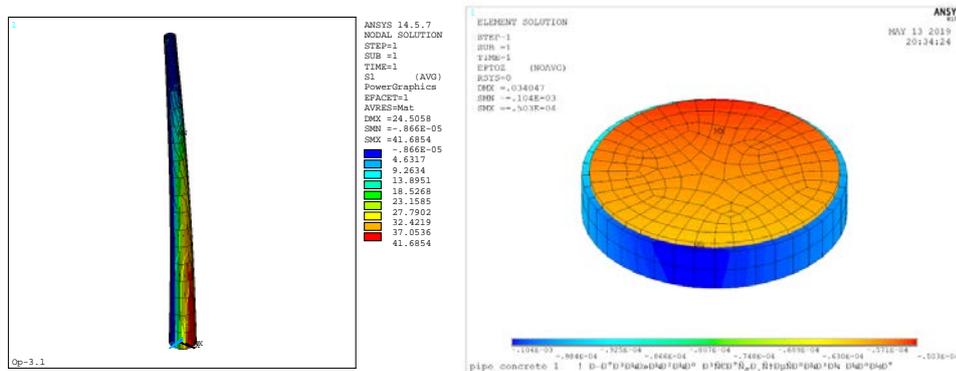


Рис. 6. Результаты компьютерного моделирования башни

Сравнение результатов расчета с данными работы [1] показало, что разрушающая нагрузка башни увеличилась на 37 % за счет заполнения нижней ее части бетоном, что говорит об эффективности предлагаемого решения. При этом разрушение башни с бетонным ядром и без него произошло от потери местной устойчивости стальной оболочки на уровне стыка башни с фундаментом (в сжатой зоне). Полученные результаты об эффективности изгибаемого трубобетона коррелируют с опытными данными работы [11], что говорит о правомерности предлагаемого в данной статье подхода. Более детальному рассмотрению напряженного деформированного грунтового массива, фундамента, контактного взаимодействия бетонного ядра и стальной оболочки будут посвящены последующие публикации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Umesh K. N., Bharath P., Mohamed Farzath Iyaz. Design and analysis of 2-MW wind turbine tower // Mechanical And Production Engineering. Vol. 4. Iss. 10. 2016. Pp. 13—17.
2. Chantharasanawong Ch., Jongpradist P., Laoharatchapruerk S. Preliminary Design of 1.5-MW Modular Wind Turbine Tower // AEC17, 2nd TSME International Conference on Mechanical Engineering, 19—21 October 2011.
3. Фатеев Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки. М. : Сельхозгиз, 1948. 554 с.
4. Сравнительный анализ статической работы различных типов стальных опор линий электропередач на основе компьютерного моделирования системы «опора — фундамент — грунт основания» / Ю. М. Стрелков, О. В. Радайкин, Л. С. Сабитов, И. Л. Кузнецов // Строительная механика и расчет сооружений. М. : Научно-исследовательский центр «Строительство». 2019. № 1. С. 71—79.
5. Елистратов В. В., Панфилов А. А. Проектирование и эксплуатация установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ветроэлектрические установки : учебное пособие. СПб. : Политехнический университет, 2011.
6. Дуванова И. А., Сальманов И. Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого совместно с Производственным, научно-исследовательским и проектно-конструкторским учреждением «Венчур». 2014. № 6(21). С. 89—103.

7. Кикин А. И., Санжаровский П. С., Труль В. А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М. : Стройиздат, 1974. 144 с.
8. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. Изд. 2-е, переработ. М. — Л. : Госэнергоиздат, 1961. 675 с.
9. Scruton C., Rogers E. W. E. Steady and Unsteady Wind Loading of Buildings and Structures [and Discussion] // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1971. Pp. 353—383.
10. Радайкин О. В. К построению диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном растяжении/сжатии с применением деформационного критерия повреждаемости // Вестник гражданских инженеров. СПб. : СПбГАСУ. 2017. № 6. С. 71—78.
11. Ефименко В. И. Прочность и деформации изгибаемых трубобетонных элементов : дис... канд. техн. наук. Полтава, 1989. 185 с.

© Сабитов Л. С., Коноплёв Ю. Г., Радайкин О. В., 2020

Поступила в редакцию  
в декабре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Сабитов Л. С., Коноплёв Ю. Г., Радайкин О. В. Компьютерное моделирование системы «комбинированная башня — железобетонный фундамент — грунт основания» ветроэлектрической установки для оценки ее эффективности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 345—355.

Об авторах:

**Сабитов Линар Салиханович** — канд. техн. наук, доцент, советник генерального директора по науке и инновациям, ООО Инженерный центр «Энергопрогресс»; Российская Федерация, г. Казань, ул. Волгоградская, 34; [sabitov-kgasu@mail.ru](mailto:sabitov-kgasu@mail.ru)

**Коноплёв Юрий Геннадьевич** — д-р физ.-мат. наук, профессор, Казанский федеральный университет, Российская Федерация, 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18; [yori.konoplev@ksu.ru](mailto:yori.konoplev@ksu.ru)

**Радайкин Олег Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1; [olegxxii@mail.ru](mailto:olegxxii@mail.ru)

**Linar S. Sabitov<sup>a</sup>, Yuri G. Konoplyov<sup>b</sup>, Oleg V. Radajkin<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> **Engineering Center Energoprogress LLC**

<sup>b</sup> **Kazan Federal University**

<sup>c</sup> **Kazan State University of Architecture and Engineering**

#### COMPUTER SIMULATION OF THE SYSTEM «COMBINED TOWER — REINFORCED CONCRETE FOUNDATION — GROUND BASE» OF WIND TURBINE

The aim of the work was to assess the effectiveness of the system “steel tower — reinforced concrete Foundation — ground base” of a wind turbine with a capacity of 2 MW using computer simulation in the “Ansys”. For this purpose, a wind turbine from [6] is considered as an analogue, but in contrast to it in this work, the cavity of the lower part of the tower at a height of 20 m was filled with concrete of class B60. The second distinctive feature of the wind turbine was the use of collapsible foundation, which is manufactured according to the patent [7]. The modeling took into account the spatial work of the structural system elements and the physical nonlinearity of the materials from which they are made. In addition, for steel was used in the theory of the strength of Mises, for concrete — Williams-Warnake, for the foundation soil is the Drucker — Prager. Comparison of the calculation results with the data of [6] showed that the breaking load of the tower increased by 37 % due to the filling of its lower part with concrete, which indicates the effectiveness of the proposed solution.

**Key words:** wind turbine, wind generator, reinforced concrete foundation, steel tower, computer modeling.

*For citation:*

Sabitov L. S., Konoplyov Yu. G., Radajkin O. V. [Computer simulation of the system “combined tower — reinforced concrete foundation — ground base” of wind turbine]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 345—355.

*About authors:*

**Linar S. Sabitov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Advisor to the Director General for Science and Innovation, Engineering Center “Energoprogress,, LLC.; 34, Volgogradskaya st., Kazan', Russian Federation; [sabitov-kgasu@mail.ru](mailto:sabitov-kgasu@mail.ru)

**Yuri G. Konoplyov** — Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Kazan Federal University. 18, Kremlevskaya St., Kazan, 420008, Russian Federation; [yori.konoplev@ksu.ru](mailto:yori.konoplev@ksu.ru)

**Oleg V. Radajkin** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Kazan State University of Architecture and Engineering. 1, Zelenaya St., Kazan, 420043, Russian Federation; [olegxxii@mail.ru](mailto:olegxxii@mail.ru)

УДК 744:37

**Н. Ю. Ермилова<sup>а</sup>, В. А. Василенко<sup>б</sup>, О. Н. Маринина<sup>а</sup>**

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

<sup>б</sup> *Гимназия № 10 Кировского района Волгограда*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА НАГЛЯДНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ШКОЛЕ И ВУЗЕ**

Рассмотрена роль, значение и применение наглядных пособий при изучении графических дисциплин в общеобразовательных учреждениях и высшей технической школе. Даны примеры по реализации принципа наглядности для повышения эффективности и качества графического образования школьников и студентов.

**Ключевые слова:** подготовка инженерных кадров, графические дисциплины, наглядные пособия, пространственные модели.

Подготовку специалистов (бакалавров) качественно нового типа — инженеров-инноваторов, инженеров-исследователей, отвечающих требованиям обновляющейся экономики и производства, высшая техническая школа осуществляет, опираясь на изучение дисциплин различного профиля (общетехнических, профессиональных, специальных), дающих фундаментальные знания в области инженерного дела. Особое место среди них занимают графические дисциплины, являющиеся основой инженерного образования.

Проблемы изучения и преподавания дисциплин графического цикла, их значение и роль в системе общего и высшего образования, в профессиональной деятельности инженера неоднократно рассматривались в наших публикациях [1—4], а также нашли широкое отражение в ряде исследований других авторов (О. В. Анякина, О. Б. Болбат, Ф. Ф. Ведякин, А. И. Лагерь, О. А. Мусиенко, О. Ф. Пиралова, В. М. Савиных и т. д.). Отмечено, что формирование и развитие устойчивых графических знаний и умений, графических компетенций и культуры графики должно протекать непрерывно от школы к вузу и востребовать прежде всего усовершенствования графического образования школьников. В связи с этим считаем, что среди первоочередных задач по усилению инженерно-технической подготовки учащихся общеобразовательных учреждений должно стать возвращение в учебные планы школ дисциплины «Черчение» с элементами начертательной геометрии, введение спецкурсов, элективов или факультативов по изучению инженерной и компьютерной графики со знанием основ технического и строительного черчения, особенно для поступающих на архитектурно-строительные специальности, умением работать в системе САПР: AutoCAD, Corel Draw и др.

При изучении графических дисциплин в школе и вузе обучающиеся овладевают процессами оперирования различными видами графических изображений и графической деятельности, формируется и развивается пространственное воображение и образное мышление, логика и интеллект личности. Особенностью графических дисциплин является то, что учебная информация осмысливается студентами и школьниками опосредованно, в основном через их зрительно-образное восприятие пространственных гео-

метрических форм и будет происходить более успешно, если в процессе обучения применяется наглядный материал. Наглядность обучения — один из важнейших общепедагогических принципов образования, особенно графического [5, 6]. Он означает, что эффективность процесса обучения зависит от максимального привлечения органов чувств к восприятию и переработке учебного материала, и чем больше органов чувств участвует в восприятии, тем познание предмета у человека будет глубже и вернее. Это золотое правило дидактики было сформулировано Я. А. Коменским. В основе его учения о наглядности лежит основное положение: «Ничего не может быть в сознании, что заранее не было дано в ощущении». Ян Амос Коменский, определяя наглядность и ее значение в образовательном процессе, отмечал: «Если мы желаем привить учащимся истинное и прочное знание вещей, нужно обучать всему через личное наблюдение и чувственное доказательство»<sup>1</sup>.

Проблемами разработки и применения наглядных пособий в образовательном процессе в разное время занимались различные выдающиеся педагоги-исследователи: Н. И. Ахутина, Т. В. Болтова, В. И. Бейер, А. И. Васильев, А. Е. Галич, К. П. Конобеевский, Л. В. Петухова и многие другие. Отмечено, что наглядные пособия необходимо использовать на всех этапах учебного процесса: при объяснении нового материала, при его закреплении, при организации самостоятельной работы и ТКУ (тренировочных контрольных упражнений) по применению знаний на практике, а также при проверке и оценке усвоения учебного материала. Наглядные учебные пособия выполняют двойственную функцию: они служат источниками новых знаний и как средства выработки практических умений и навыков у учащихся. Демонстрация и работа с наглядными пособиями должны вести обучаемых к очередной ступени развития когнитивных процессов, стимулировать переход от конкретно-образного и наглядно-действенного мышления к абстрактному, словесно-логическому, способствовать более прочному усвоению учебного материала<sup>2</sup> [7—9]. Однако практика показывает, что наглядные пособия при изучении черчения используются в минимальном объеме, особенно такой темы, как «Прямоугольное проецирование предметов на плоскость». Но чаще всего они просто отсутствуют, и изучение разделов курса ведется по учебникам. Вместе с тем наглядные пособия, например различные модели (детали машиностроительных узлов), могут быть изготовлены из разных конструкционных материалов. Эти детали выполняются по чертежам, которые предлагаются для изучения таких тем, как «Прямоугольное проецирование», «Проецирование на несколько плоскостей проекции», «Изображения — виды, разрезы, сечения», «Аксонметрические проекции» и многих других. В качестве материала для их изготовления лучше всего использовать древесину. Она должна быть достаточно твердой,

<sup>1</sup> Дидактические принципы Яна Амоса Коменского. URL: <https://www.sites.google.com/site/somojajt/portret-pedagoga/pedagogiceskie-vzglady/principy-pravila-logik-obucenia-i-vospitania>.

<sup>2</sup> Наглядные пособия и возможности их использования на уроках черчения. URL: [https://studwood.ru/1684385/tovarovedenie/naglyadnye\\_posobiyavozmozhnostiispolzovaniyaurokah\\_chercheniya](https://studwood.ru/1684385/tovarovedenie/naglyadnye_posobiyavozmozhnostiispolzovaniyaurokah_chercheniya).

Разработка методики наглядных пособий на уроках черчения. URL: [https://revolution.allbest.ru/manufacture/00570571\\_0.html](https://revolution.allbest.ru/manufacture/00570571_0.html).

недорогой и не иметь ярко выраженную текстуру. Этим требованиям отвечает древесина березы и бука. Бук является предпочтительней, так как он хорошо и чисто обрабатывается на токарном станке [10]. Применение таких наглядных пособий при изучении различных разделов курса черчения в школе и инженерной графики в вузе дает возможность решения *прямой* и *обратной* задач, являющихся методологической основой освоения графических дисциплин. Так, например, при решении *прямой* задачи, объясняя процесс выполнения чертежа какой-либо модели (детали), преподаватель акцентирует внимание обучающихся на определении необходимого и достаточного количества ее изображений, разрезов, сечений; порядке нанесения размеров и правилах оформления чертежа; учет технологии изготовления по данному чертежу самого изделия и т. д. При чтении чертежа модели, т. е. решении *обратной* задачи, педагог развивает способность представлять по чертежу структуру и размеры изделия, его внешнее и внутреннее устройство, понимать конструктивные, технологические и эксплуатационные особенности модели (детали). Таким образом, происходит формирование и развитие пространственного воображения и образного мышления обучающихся. Кроме этого, использование наглядных пособий при изучении графических дисциплин дает возможность расширить область учебного задания, предлагаемого на занятиях. Так, например, при изучении видов обучающимся можно предложить самостоятельно выбрать и вычертить главный вид модели. Это достаточно важный этап работы с изделием, поскольку от правильности выбора зависит дальнейшее понимание формы, размеров и пропорций изделия. Можно также предложить им вычертить третий вид модели по двум уже имеющимся. При работе с наглядными пособиями обучающиеся самостоятельно могут измерить все элементы, из которых состоит изделие, и расставить необходимые размеры. Это особенно важно, если учесть, что в практической деятельности конструктора иногда возникает необходимость измерить и вычертить деталь взамен вышедшей из строя. Если модель детали представлена с вырезом одной ее четвертой части, то это в значительной степени облегчает процесс понимания учебного задания и упрощает работу над ним. Такое наглядное пособие позволяет увидеть внутренние поверхности, их взаимное расположение и пересечения. Научившись работать с такой моделью, обучающиеся гораздо быстрее освоят и поймут процесс построения изометрической проекции и перейдут к самостоятельной работе [10].

Рассмотрим несколько примеров решения прямой и обратной задачи при изучении основных разделов курса черчения и инженерной графики.

Пример 1. Тема: «Проекционное черчение. Виды».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 1) выполнить три основных ее вида, проставить размеры (рис. 1 и 2).

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. В вузах решение данной задачи возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом 1/4 ее части (рис. 2). В общеобразовательных учреждениях, кроме этого, допустимо выполнение модели в школьных мастерских под руководством учителя.

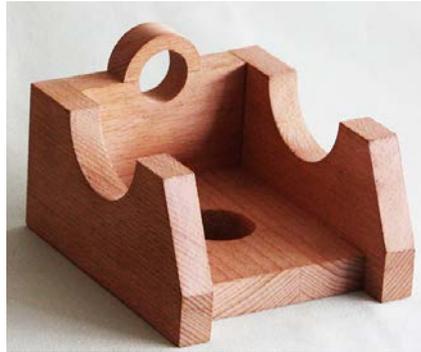


Рис. 1. Модель № 1

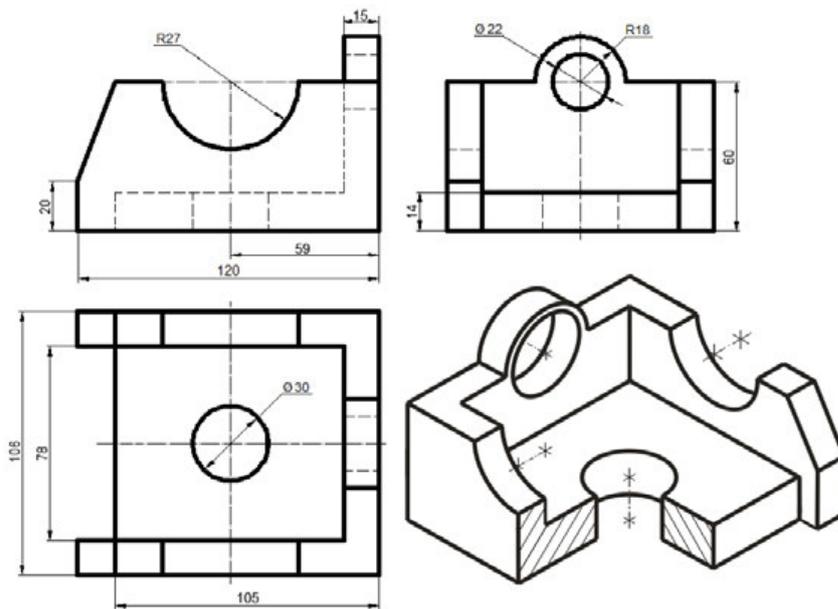


Рис. 2. Три вида и прямоугольная изометрия модели № 1

Пример 2. Тема: «Проекционное черчение. Виды».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 2) выполнить три основных ее вида, проставить размеры (рис. 3 и 4).



Рис. 3. Модель № 2

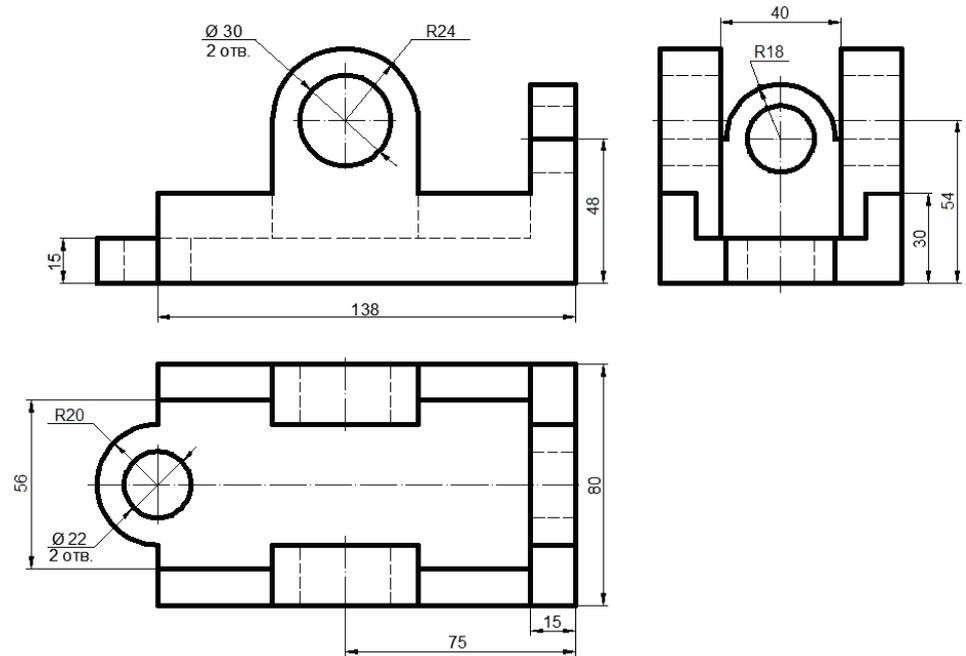


Рис. 4. Три вида модели № 2

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. Решение данной задачи возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом 1/4 ее части, а также допустимо выполнение модели в школьных мастерских.

Пример 3. Тема: «Проекционное черчение. Разрез простой».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 3) выполнить три основных ее вида. На месте главного вида и вида слева показать фронтальный и профильный разрезы. Проставить размеры, обозначить разрезы (рис. 5 и 6).

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. Решение данной задачи также возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом 1/4 ее части, допустимо выполнение модели в школьных мастерских.



Рис. 5. Модель № 3

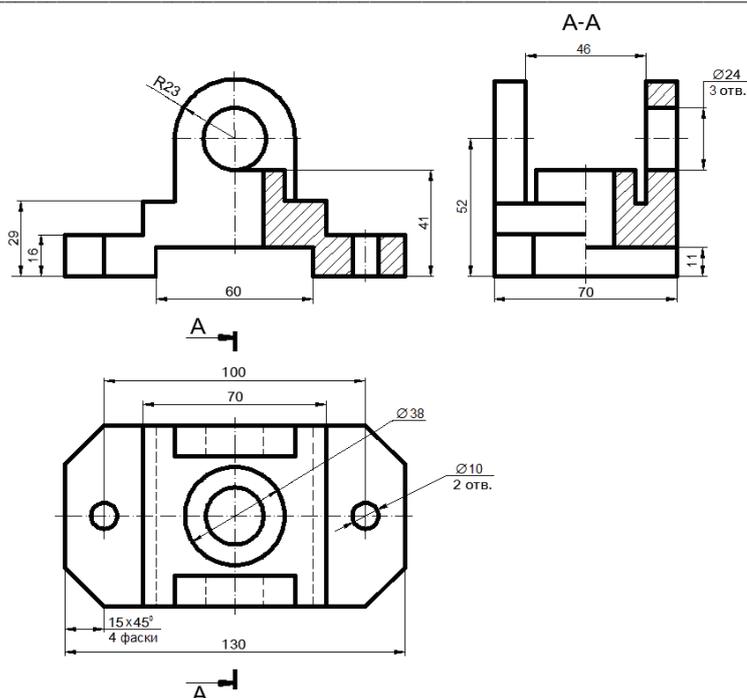


Рис. 6. Фронтальный и профильный разрезы модели № 3

Пример 4. Тема: «Проекционное черчение. Разрез простой».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 4) выполнить три основных ее вида. На месте главного вида и вида слева показать фронтальный и профильный разрезы. Проставить размеры, обозначить разрезы (рис. 7 и 8).

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. Решение данной задачи возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом 1/4 ее части, также допустимо выполнение модели в школьных мастерских.

Модель № 4 относится к категории сложных, состоящих из сочетания различных геометрических поверхностей. При выполнении чертежей таких моделей у обучающихся часто возникают определенные трудности, требующие дополнительные объяснения со стороны преподавателей.



Рис. 7. Модель № 4

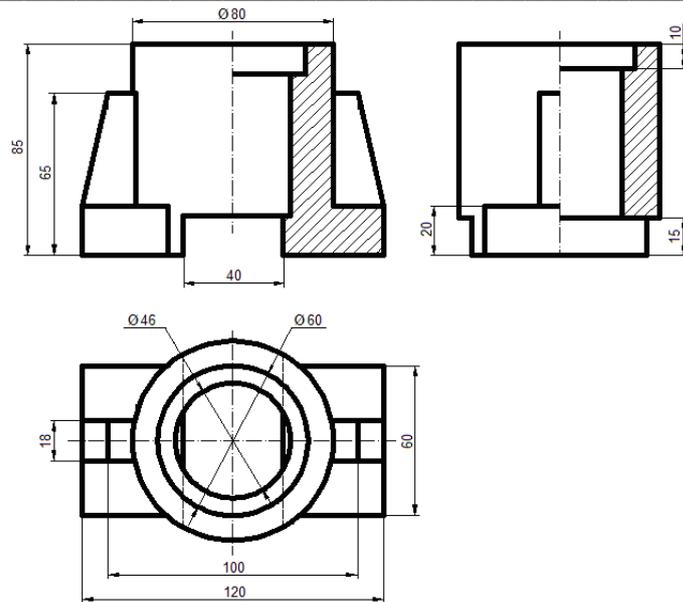


Рис. 8. Фронтальный и профильный разрезы модели № 4

Пример 5. Тема: «Проекционное черчение. Разрез простой».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 5) выполнить необходимое и достаточное количество ее видов. Показать требуемые из построения разрезы. Проставить размеры (рис. 9 и 10).



Рис. 9. Модель № 5

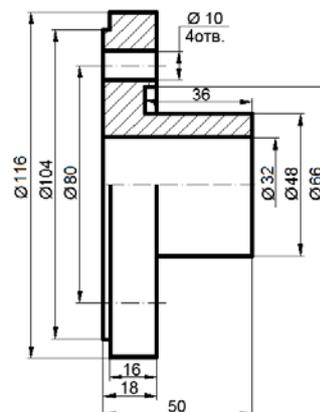


Рис. 10. Соединение части вида с частью фронтального разреза модели № 5

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. Решение данной задачи также возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом 1/4 ее части, допустимо выполнение модели в школьных мастерских.

Модель № 5 относится к поверхностям вращения. В связи с этим допустимо выполнение только одного главного вида модели в соединении части вида с частью фронтального разреза и нанесением на нем всех размеров. Выбор главного вида модели определен ее положением на токарном станке.

Пример 6. Тема: «Проекционное черчение. Разрез сложный».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 6) выполнить два основных ее вида. На месте главного вида показать сложный ступенчатый разрез. Проставить размеры, обозначить разрезы (рис. 11 и 12).



Рис. 11. Модель № 6

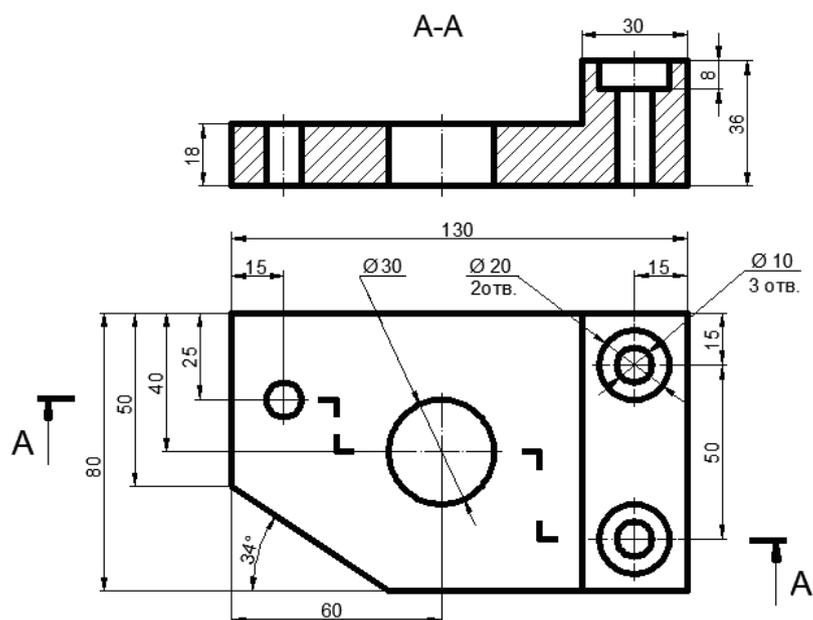


Рис. 12. Сложный ступенчатый разрез модели № 6

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. Решение данной задачи возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом ее части, также допустимо выполнение модели в школьных мастерских.

Пример 7. Тема: «Проекционное черчение. Разрез сложный».

Прямая задача: По наглядному пособию (модель № 7) выполнить два основных ее вида. На месте главного вида показать сложный ломаный разрез. Проставить размеры, обозначить разрезы (рис. 13 и 14).

Обратная задача: По предложенному чертежу модели представить ее размеры, внешнее и внутреннее устройство. Решение данной задачи возможно с выполнением прямоугольной изометрии детали с вырезом ее части, также допустимо выполнение модели в школьных мастерских.

Модель № 7 относится к поверхностям вращения. Вместе с тем выполнено два основных ее вида, которые позволяют полностью показать размеры и линию сечения модели.



Рис. 13. Модель № 7

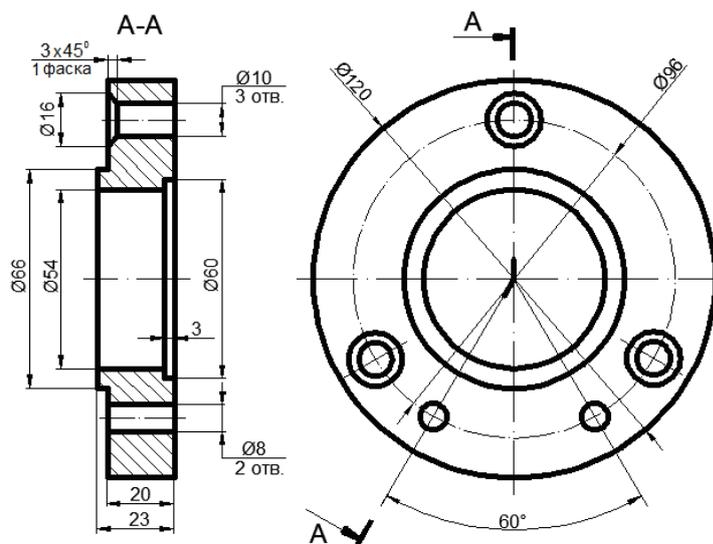


Рис. 14. Сложный ломаный разрез модели № 7

Таким образом, модели, которые можно использовать в процессе изучения графических дисциплин, достаточно разнообразны, также широка и область их применения. Многие из них, как было отмечено, могут быть изготовлены учащимися в школьных мастерских совместно с учителем. Применение наряду с моделями символической наглядности, т. е. технических рисунков и чертежей, значительно повышает эффективность наглядного обучения. Однако сочетание модели и чертежа во всем курсе черчения или инженерной графики не должно быть одинаковым. Вначале, когда обучающиеся не умеют читать чертеж, основным средством наглядности будет объемная модель, по мере изучения дисциплины роль чертежа должна увеличиваться.

Будущий инженер должен научиться свободно читать любой чертеж, что является одной из целей обучения графическим дисциплинам.

*Примечание:* Модели, представленные в этой работе, выполнены учителем высшей категории МОУ «Гимназия № 10 Кировского района Волгограда» В. А. Василенко совместно со своими учениками.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ермилова Н. Ю., Поздня Л. В.* Растить инженера. Пути интеграции общего и высшего образования // Материалы ежегодной науч.-технич. конф. ППС и студентов ВолгГАСУ, 29—30 апреля 2014 г., Волгоград: в 2 ч. Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. Ч. I. С. 134—138.
2. *Ермилова Н. Ю., Поздня Л. В.* Проблемы совершенствования графической подготовки учащихся общеобразовательных учреждений // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. 21 апр. 2017 г., Брест (Респ. Беларусь), Новосибирск (Рос. Федерация) : Новосиб. гос. архит.-строит. ун-т (Сибстрин) и др. Новосибирск, 2017. С. 101—105.
3. *Ермилова Н. Ю.* Проблемы графического образования студентов архитектурно-строительных специальностей // Новые идеи нового века — 2015 : материалы XV Международной науч. конф.: в 3 т. Хабаровск : ТГОУ, 2015. Т. 2. С. 352—357.
4. *Мензелинцев Н. В., Ермилова Н. Ю., Маринина О. Н.* Значение и роль олимпиад по черчению в графическом образовании школьников и студентов // Вестник ВолгГАСУ. Сер: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44(63). Ч. 2. С. 189—199.
5. Совершенствование методики преподавания начертательной геометрии студентам архитектурно-строительных специальностей / Н. В. Мензелинцев, Н. Ю. Ермилова, О. Н. Маринина, О. В. Проценко // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 47(66). С. 583—594.
6. *Ермилова Н. Ю.* Принципы графической подготовки студентов строительных специальностей // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Международной конф., посвящ. 60-летию образования вуза, 18—19 сент. 2012 г., Волгоград: в 2 ч. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. Ч. 2. С. 300—303.
7. *Пилюк Е. А.* Особенности применения наглядных пособий в словесных, практических и наглядных методах обучения. URL: <https://infourok.ru/osobennosti-primeneniya-naglyadnih-posobiy-v-slovesnih-prakticheskikh-i-naglyadnih-metodah-obucheniya-2482556.html>.
8. *Петухова Л. В.* Наглядные пособия, их роль в использовании нового материала по математике. URL: <https://открытыйурок.рф/статьи/211791/>.
9. *Лосева М. В., Никанорова Л. В.* Формирование объемно-пространственного воображения у студентов в процессе изучения дисциплины «Начертательная геометрия и инженерная графика» // Сборник науч. тр. Ангарского гос. техн. ун-та ; Ангарский. гос. техн. ун-т. Ангарск, 2017. С. 152—156.
10. *Василенко В. А., Ермилова Н. Ю.* Применение наглядных пособий в процессе изучения черчения // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. мол. исследователей, Волгоград, 22—27 апр. 2019 г. / под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой ; Волгогр. гос. техн. ун-т. Волгоград, 2019. С. 471—475.

© *Ермилова Н. Ю., Василенко В. А., Маринина О. Н., 2020*

*Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Ермилова Н. Ю., Василенко В. А., Маринина О. Н.* Реализация принципа наглядности при изучении графических дисциплин в школе и вузе // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 356—366.

*Об авторах:*

**Ермилова Наталья Юрьевна** — канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [n.y.ermilova@yandex.ru](mailto:n.y.ermilova@yandex.ru)

**Василенко Виктор Артемович** — учитель высшей категории, МОУ «Гимназия № 10 Кировского района Волгограда». Российская Федерация, 400059, г. Волгоград, ул. 64-й Армии, д. 63; [texno34@mail.ru](mailto:texno34@mail.ru)

**Маринина Ольга Николаевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [day.meednight@gmail.com](mailto:day.meednight@gmail.com)

**Natal'ya Yu. Ermilova<sup>a</sup>, Viktor A. Vasilenko<sup>b</sup>, Ol'ga N. Marinina<sup>a</sup>**

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

<sup>b</sup> *Gimnasium no. 10 of Kirovskii district of Volgograd*

## REALIZATION OF THE PRINCIPLE OF PRESENTATION WHEN STUDYING GRAPHIC DISCIPLINES AT SCHOOL AND HIGHER EDUCATION INSTITUTION

The role, value and application of visual aids when studying graphic disciplines in educational institutions and the higher technical school is considered. Examples on realization of the principle of presentation for increase in efficiency and quality of graphic education of school students and students are given.

**Key words:** preparation of engineering shots, graphic education, graphic disciplines, visual aids, spatial models.

### *For citation:*

Ermilova N. Yu., Vasilenko V. A., Marinina O. N. [Realization of the principle of presentation when studying graphic disciplines at school and higher education institution]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 1, pp. 356—366.

### *About authors:*

**Natal'ya Yu. Ermilova** — Candidate of Pedagogic Science, Docent, Docent of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [n.y.ermilova@yandex.ru](mailto:n.y.ermilova@yandex.ru)

**Viktor A. Vasilenko** — Teacher, gymnasium no. 10 of Kirovskii district of Volgograd. 63, 64 Army St., Volgograd, 400059, Russian Federation; [texno34@mail.ru](mailto:texno34@mail.ru)

**Ol'ga N. Marinina** — Candidate of Engineering Science, Docent of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [day.meednight@gmail.com](mailto:day.meednight@gmail.com)