Министерство образования и науки Российской Федерации

ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 45(64)

Серия: Строительство и архитектура
Научно-теоретический и производственно-практический журнал

2016

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

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград ВолгГАСУ

С о д е р ж а н и е

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

Богомолов А. Н., Абрамов Г. А., Богомолова О. А., Богдан А. В. Устойчивость круглой и полуэллиптической выработок, пройденных в изотропном грунтовом откосе на уровне его подошвы 4

Богомолов А. Н., Степанова Е. А., Богомолова О. А., Цветкова Е. В., Либурацков Е. М. Численный анализ оседания земной поверхности над горизонтальными выработками 12

Маяцкая И. А. О возможности совершенствования строительных конструкций с учетом бионических принципов 27

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Белова Н. А., Цамаева П. С., Страхова Н. А. Перспективы развития производства битумов в России 37

Корнеева Е. В., Корнеев В. А. Использование электросталеплавильного шлака в производстве строительных материалов 45

Низина Т. А., Балыков А. С. Построение экспериментально-статистических моделей «состав — свойство» физико-механических характеристик модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов 54

Середин Б. Н., Страхова Н. А., Эльмурзаев А. А., Кортовенко Л. П. Производство и использование модифицированной серы в композиционных материалах 67

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фоменко Н. А. Повышение эффективности защиты гидропривода строительно-дорожных машин 76

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Торгашина С. Н., Довмалова А. С., Зазуля И. А., Торгашин Г. А. Солнечный коллектор как метод повышения теплотехнических качеств жилых и общественных зданий в межсезонный период года 86
Чеснокова О. Г. Использование сверхтонкой теплоизоляции для исключения промерзания стальных оконных перемычек 94

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Вараева Е. А. Совершенствование технологии очистки сточных вод горно-обогатительных комбинатов от сульфатов и тяжелых металлов 102

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Каныгин В. А. Безнапорное течение вязкопластичной жидкости 114

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Антюфеев А. В., Клименко И. М. Особенности организации объектов кратковременного отдыха в структуре города с позиции основных концепций развития урбанизированных территорий (на примере г. Донецка) 119
Бурханова Р. А., Бурханов А. И., Азаров Д. В. Оценка проскока в атмосферу и рабочую зону асбестоцементной пыли после пылеуловителей со встречными закрученными потоками 128
Ганжа О. А., Прокопенко В. В. К вопросу о методике, определяющей показатель комфортности объектов озеленения общего пользования (на примере города Волгограда) 136
Коростелева Н. В., Нестеренко Е. В. Развитие велоинфраструктуры в городах как способ снижения негативного влияния транспортной системы на городскую среду 149
Потокина Т. М., ***Карпенко А. Г.*** Цвет как элемент структурирования социального пространства 158
Растяпина О. А. Влияние урбанизации на благополучие городского поселения 168

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Скоробогатченко Д. А. Прогнозирование состояния сложных объектов автодорожного комплекса на основе нечетких нейронных сетей 188

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Дьякова М. Г., Рыданова Е. Н., Поляков В. Г. Межкультурная коммуникация в рамках образовательного процесса: теоретический и практический аспекты 199

Content

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

Bogomolov A. N., Abramov G. A., Bogomolova O. A., Bogdan A. V. Stability of circular and semielliptical developments in isotropic soil slope at the level of its base 4
Bogomolov A. N., Stepanova E. A., Bogomolova O. A., Tsvetkova E. V., Liburatskov E. M. The numerical analysis of ground surface subsidence over horizontal developments 12
Mayatskaya L. A. About the possibility of improvement of building constructions taking into account bionic principles 27

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Belova N. A., Tsamaeva P. S., Strakhova N. A. Prospects of the development of bitumen production in Russia 37
Korneeva E. V., Korneev V. A. Use of electric furnace slag in the production of construction materials 45
Nizina T. A., Balykov A. S. Formation of experimental-statistical models «composition — property» of physical and mechanical properties of modified fiber-reinforced fine-grained concretes 54
Seredin B. N., Strakhova N. A., El'murzaev A. A., Kortovenko L. P. Production and use of modified sulphur in composite materials 67

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Fomenko N. A. Reliability improvement of the protection system of hydraulic gear of construction and road cars 76

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

Torgashina S. N., Dovmalova A. S., Zazulya I. A., Torgashin G. A. Solar energy collector as the method of increase of thermotechnical qualities of residential and public buildings during the interseasonal period of a year 86
Chesnokova O. G. Use of ultra-fine heat insulation to prevent freezing of steel window bridges 94

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Varaeva E. A. Improvement of mine and underspoil dump water treatment technology from sulphates and heavy metals 102

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION. HYDRAULIC SYSTEM AND ENGINEERING HYDROLOGY

Kanygin V. A. Free flow of bingham fluid 114

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Antyufeev A. V., Klimenko I. M. Features of the organization of short-term rest places in the city structure from the perspective of the main development concepts for the urbanized territories (by the example of the city of Donetsk) 119
Burkhanova R. A., Burkhanov A. I., Azarov D. V. Estimation of leakage of asbestos-cement dust in the atmosphere and working zone after dedusters with counter twirled streams 128
Ganzha O. A., Prokopenko V. V. Towards technique defining the indicator of comfort of objects of planting (by the example of the city of Volgograd) 136
Korosteleva N. V., Nesterenko E. V. The development of bicycle infrastructure in the cities as a way to reduce the negative impact of the transport system 149
Potokina T. M., Karpenko A. G. Colour as an element of the structuring of socila space 158
Rastyapina O. A. The impact of urbanization on the well-being of urban settlement 168

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Skorobogatchenko D. A. Forecasting of the state of complex objects in the road sector based on fuzzy neural networks 188

ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

D'yakova M. G., Rydanova E. N., Polyakov V. G. Intercultural communication in the educational process: theoretical and practical aspects 199

УДК 624.131.53:622.26:624.137.2

А. Н. Богомолов[а, б], Г. А. Абрамов[а], О. А. Богомолова[а], А. В. Богдан[а]

[а] Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
[б] Пермский национальный исследовательский политехнический университет

УСТОЙЧИВОСТЬ КРУГЛОЙ И ПОЛУЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ В ИЗОТРОПНОМ ГРУНТОВОМ ОТКОСЕ НА УРОВНЕ ЕГО ПОДОШВЫ

Приведены результаты расчетов по определению значений безопасного угла внутреннего трения, которые обеспечивают длительную устойчивость выработок круглого и полуэллиптического сечения, ослабляющих однородный откос на уровне подошвы. Показано, что безопасные углы внутреннего трения практически совпадают для выработок круглого и полуэллиптического сечения, при условии, что физико-механические свойства слагающего грунта, геометрические параметры откоса и поперечные размеры выработок одинаковы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: грунтовый откос, ослабляющие круглая и полуэллиптическая горизонтальные выработки, критерий устойчивость выработки, физико-механические свойства грунта, безопасные значения угла внутреннего трения слагающего грунта.

В статье [1] описан один из возможных вариантов оценки устойчивости подземной выработки, а в [2] приведены результаты вычислений, которые позволяют определить безопасное значения угла внутреннего трения $\varphi_б$ связного грунта вмещающего массива, когда на контуре подземной выработки отсутствуют области пластических деформаций. Вычисления выполнены при условии, что выработка имеет горизонтальную ориентацию, ее сечение представляет собой окружность переменного диаметра (d = (0,05; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3)h), а ее центр поочередно располагаются на расстояниях $L = h$; $L = h+((2h/\mathrm{tg}\beta - h)/2)$; $L = 2h/\mathrm{tg}\beta$ от A — точки перехода откоса в подошву. Угол откоса принимал три значения β = 25°; 45°; 60°, а величине приведенного давления связности при расчете присваивались шесть значений: $\sigma_{св}$ = 0,1; 0,5; 1; 2; 2,75; 3,5.

Определение величины $\varphi_б$ проведено при помощи критерия длительной устойчивости грунтового массива, представленного в работах [3—7].

Качественным признаком этого критерия устойчивости является отсутствие на контуре выработки точек, в которых получили развитие пластические деформации (для связных грунтов) или начались процессы разрыхления или дробления (для скальных грунтов).

Для связных грунтов в качестве количественного показателя критерия прочности выбрана величина приведенного давления связности грунта $\sigma_{св} = c(\gamma h \,\mathrm{tg}\,\varphi)^{-1}$, которая, в определенном смысле, является универсальной, так как связывает между собой физико-механические свойства грунта (угол внутреннего трения φ; удельное сцепление c; удельный вес γ) и геометрический параметр h — высоту откоса.

Для определения положения, размеров и формы областей пластических деформаций достаточно часто используется условие прочности Кулона [8], которое имеет следующие транскрипции:

$$\left.\begin{aligned}&\sigma_1-\sigma_2=(\sigma_1+\sigma_2+2\sigma_{св})\sin\varphi,\\&\text{или}\\&(\sigma_x-\sigma_z)^2+4\tau_{xz}^2=(\sigma_x+\sigma_z+2\sigma_{св})^2\sin^2\varphi,\\&\text{или}\\&\operatorname{tg}\theta_{max}=\operatorname{tg}\varphi,\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

где σ_1 и σ_2 — главные нормальные напряжения; σ_x, σ_z, τ_{xz} — компоненты напряжения; θ_{max} — угол максимального отклонения в точке грунтового массива.

Если откос сложен однородным связным грунтом, то для отыскания численных значений c и φ можно использовать методы, описанные, например, в работе [9]. Если вмещающий грунт является скальным, то для отыскания их прочностных характеристик можно использовать рекомендации, приведенные в работе [10], и формулы проф. В. В. Соколовского [11, 12]

$$c^{экв}=0,5(R_р R_{сж})^{0,5},\qquad(2)$$

$$\varphi^{экв}=\arcsin\left(\frac{R_{сж}-R_р}{R_р+R_{сж}}\right),\qquad(3)$$

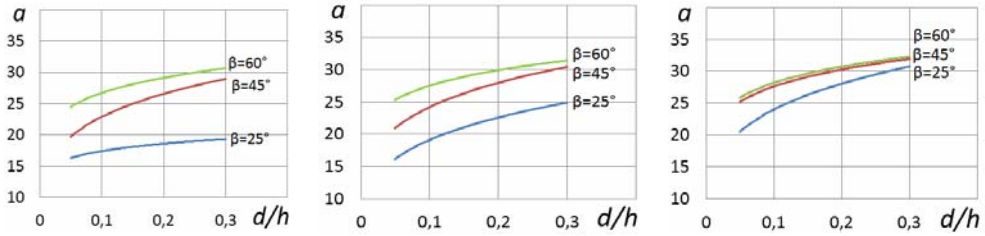
используя при этом значения пределов прочности при растяжении $R_р$ и при сжатии $R_{сж}$, средние значения которых для скальных грунтов приведены в справочной литературе, например, в [10].

Вычисления выполнены при величине коэффициента бокового давления $\xi_o = 0,75$, что соответствует среднему значению для глинистых грунтов [13—15], при помощи компьютерной программы FEA [16].

В результате оказалось, что величина безопасного угла внутреннего трения $\varphi_б$ может быть вычислена по простой формуле

$$\varphi_б=a\sigma_{св}^b,\qquad(4)$$

где a и b — действительные коэффициенты, причем, коэффициент a, имеющий размерность [град], определяется по графикам, приведенным на рис. 1, а постоянный безразмерный коэффициент $b = –0,62$.



а *б* *в*

Рис. 1. Графики для определения численного значения коэффициента a в зависимости от относительного диаметра выработки при $L = h$ (*а*); $L = h + ((2h/\operatorname{tg}\beta - h)/2)$ (*б*) и $L = 2h/\operatorname{tg}\beta$ (*в*)

На основе совместного использования представленных в работе [2] графических зависимостей, формулы (4) и метода линейной интерполяции разработан инженерный метод оценки устойчивости одиночной круглой выработки, отработанной в однородном грунтовом откосе.

Однако кроме круглого, сечение подземной выработки, используемой в качестве тоннеля, может иметь форму половины окружности, половины эллипса, эллипса, прямоугольника или другой геометрической фигуры.

В природе очень часто встречаются естественные тоннели с соответствующей формой поперечного сечения, возраст которых исчисляется многими тысячелетиями и которые находятся в устойчивом состоянии (рис. 2).

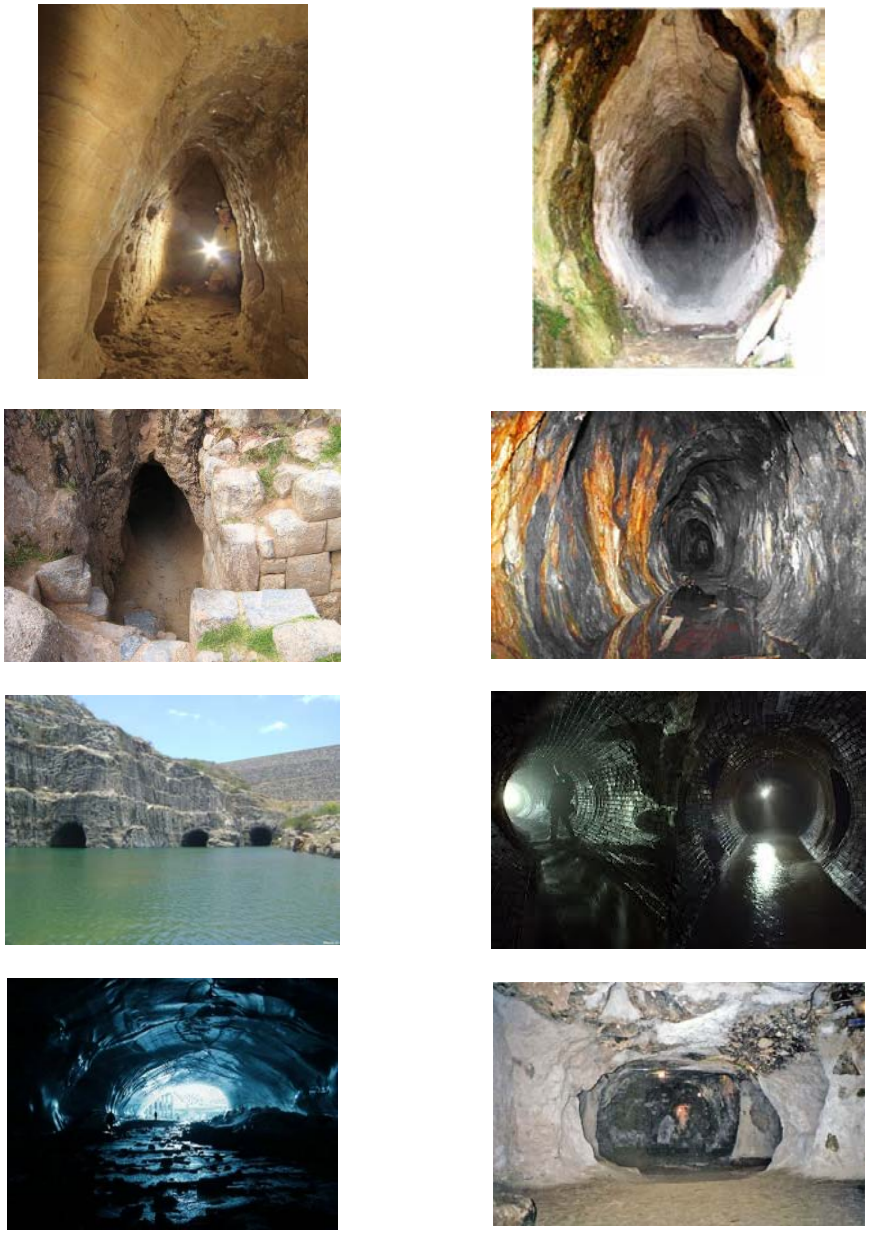
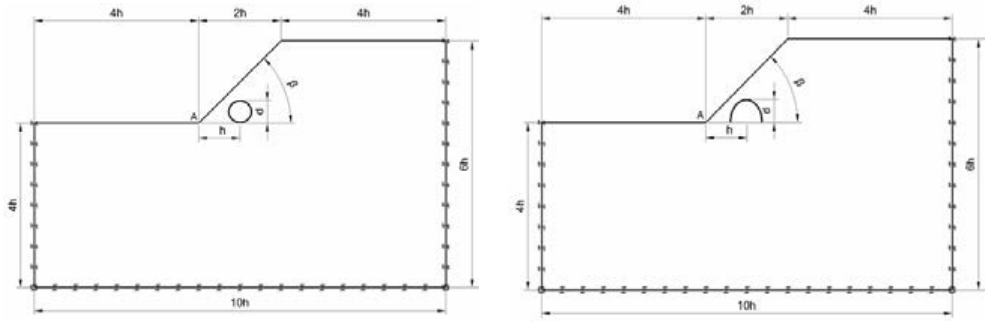


Рис. 2. Древние, находящиеся в устойчивом состоянии, пещеры и выработки (по материалам сайтов http://techno.bigmir.net; http://www.symbolizm.ru; http://www.planetatain.ru. http://4bp.blogsport.com; http://duhrost.ru. Фото: Getty Images; Deb Mac Fadden)

Поэтому была поставлена задача провести исследования, объем и содержание которых, полностью совпадают с описанными выше. Имеется одно лишь отличие — форма поперечного сечения выработки имеет форму полуэллипса, а не окружности. Расчетные схемы МКЭ однородных откосов, ослабленных круглым и полуэллиптическим отверстием, приведены на рис. 3.



а *б*

Рис. 3. Виды расчетных схем МКЭ, геометрические параметры

В результате обработки и анализа полученных результатов построены графические зависимости вида $\varphi_б = f(\sigma_{св})$ для сечений обеих форм, часть из которых (при условии, что расстояние от вертикальной оси симметрии выработки до точки *A* равно *h*) приведены на рис. 4.

Для вычисления безопасного угла внутреннего трения $\varphi_б$ остается справедливой формула (4).

Сопоставление кривых, изображенных на рис. 4, и соответствующих кривых, приведенных в [2], показывает, что соответствующие значения безопасного угла внутреннего трения $\varphi_б$ весьма незначительно отличаются друг от друга.

Для количественной оценки этого отличия рассмотрим **пример.** Пусть угол заложения откоса $\beta = 30°$, основание полуэллиптической выработки равно диаметру круглой выработки $d = 0{,}1h$, расстояние $L = 1{,}3h$, а физико-механические свойства слагающего грунта таковы, что величина приведенного давления связанности $\sigma_{св} = 3$. Расчетная схема приведена на рис. 5.

Используя графические зависимости, приведенные в работе [2], и кривые, изображенные на рис. 4, применяя метод линейной интерполяции, получим, что численное значение безопасного угла внутреннего трения для круглой выработки равна $\varphi_б = 9{,}49°$, а для выработки с сечением в виде полуэллипса — $\varphi_б = 9{,}58°$, т. е. разница составляет 0,4 %. Расчеты, выполненные непосредственно при помощи компьютерной программы [16], дали значения $\varphi_б = 9{,}66$ для круглой выработки и $\varphi_б = 9{,}49$ — для выработки в виде полуэллипса. Эти значения отличаются друг от друга на 1,7 %.

Подобные расчеты выполнены и для других размеров и местоположения подземной выработки, они показали, что соответствующие значения безопасного угла внутреннего трения $\varphi_б$ для круглой и полуэллиптической выработки отличаются друг от друга не более чем на 7,3 %.

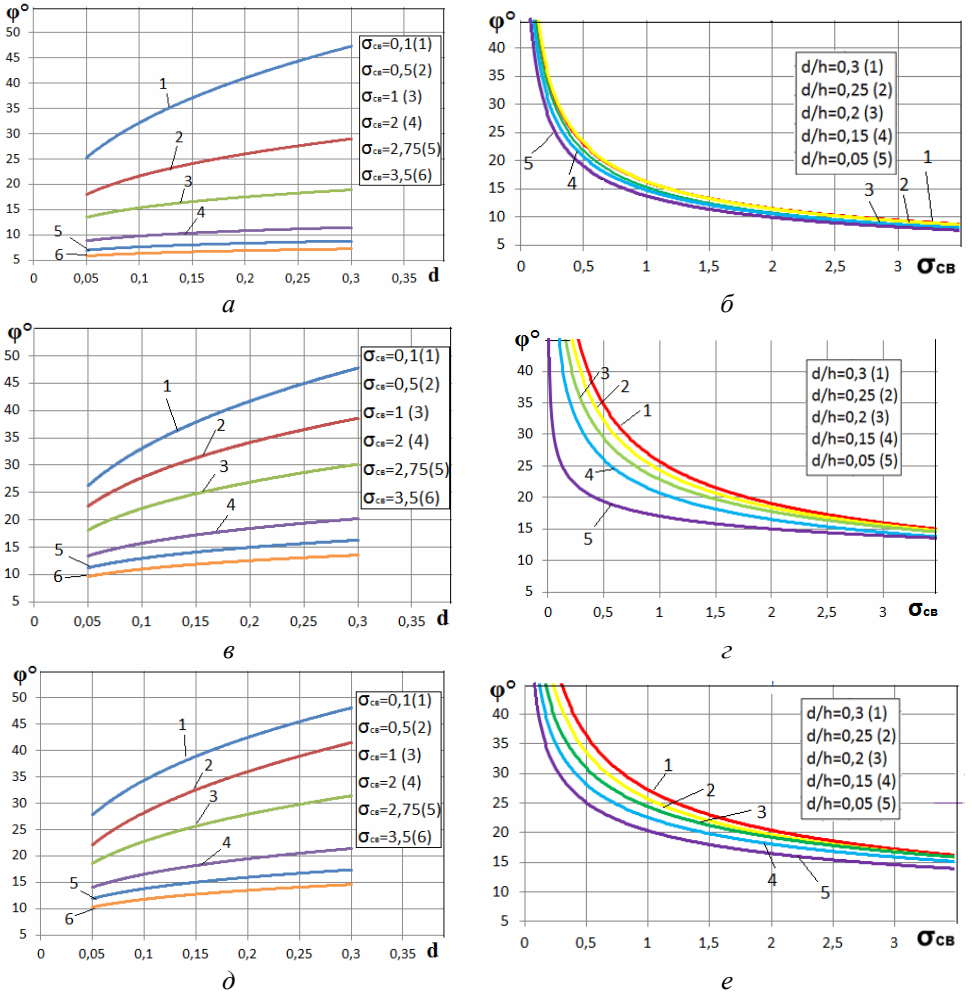


Рис. 4. Графические зависимости вида $\varphi_б = f(d)$ (*а*, *в*, *д*) и $\varphi_б = f(\sigma_{св})$ (*б*, *г*, *е*) $\beta = 25°$ (*а*, *б*); $\beta = 45°$ (*в*, *г*); $\beta = 60°$ (*д*, *е*) при условии, что расстояние от оси симметрии выработки до точки *А* равно *h*

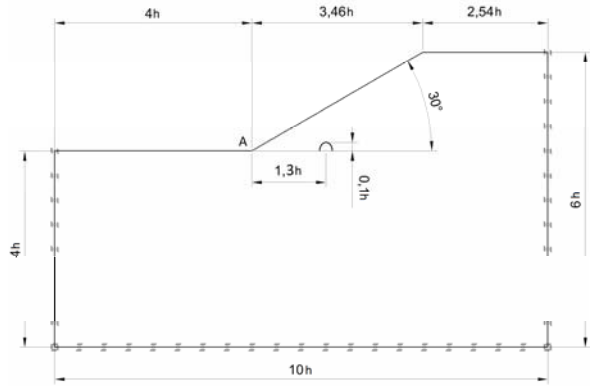


Рис. 5. Расчетная схема метода конечных элементов для рассматриваемого примера

Результаты выполненных исследований позволяют утверждать, что:

1. Устойчивость горизонтальных выработок круглого и полуэллиптического сечения поперечного сечения, ослабляющих однородный откос на уровне его подошвы, практически одинакова при численном равенстве физико-механических свойств слагающего грунта и геометрических параметров откоса и выработки.

2. Графические зависимости и выражения, приведенные в работе [2], могут быть применимы для предварительной оценки величины безопасного угла внутреннего трения $\varphi_б$, обеспечивающего длительную устойчивость выработки полуэллиптического сечения. Погрешность вычислений не будет превышать 7,3 %, которые идут в запас устойчивости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет устойчивости незакрепленной круглой выработки, пройденной в грунтовом откосе / А. Н. Богомолов, Г. А. Абрамов, О. А. Богомолова, Е. В. Цветкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 43(62). С. 5—13.

2. Оценка устойчивости круглых выработок различного диаметра, отработанных в однородном грунтовом откосе на уровне его подошвы / А. Н. Богомолов, Г. А. Абрамов, О. А. Богомолова, В. В. Подтелков, И. В. Якименко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 44(63). Ч. 1. С. 12—20.

3. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Шиян С. И.* О двух критериях устойчивости грунтовых откосов и склонов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика : материалы Всерос. семинара-совещ. зав. каф. «Строит. пр-во» и междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию строит. фак. ПГТУ (г. Пермь, 22—23 сент. 2009 г.). Пермь: ПГТУ, 2009. С. 54—58.

4. *Богомолов А. Н., Шиян, С. И.* О критерии безопасной эксплуатации грунтового откоса судоходного канала // Фундаментальные исследования. 2008. № 4. С. 95—98.

5. *Богомолов А. Н., Шиян С. И., Богомолова О. А.* Расчет устойчивости откосов с учетом их взаимного влияния в составе грунтового сооружения // Гидротехническое строительство. 2014. № 7. С. 37—40.

6. Критерий безопасной эксплуатации и коэффициенты запаса оползнеопасных склонов / А. Н. Богомолов, С. И. Шиян, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, А. В. Соловьев // Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. Присвяч. пам'яті д-ра техн. наук, проф. О. Г. Онищенка. Полтава: [ПолтНТУ], 2010. Вып. 3(28). С. 49—54.

7. Новый критерий оценки длительной устойчивости однородных откосов на основе анализа напряженно-деформированного состояния / А. Н. Богомолов, М. Ю. Нестратов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 14(33). С. 5—12.

8. *Coulomb C.* Application des rigles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L`architecture. Memoires de savants etrangers de L`Academlie des sciences de Paris, 1773.

9. *Трофименков Ю. Г., Воробков Л. Н.* Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981. 215 с.

10. *Ломтадзе В. Д.* Физико-механические характеристики горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 328 с.

11. *Соколовский В. В.* Статика сыпучей среды. М.; Л.: АН СССР, 1942. 207 с.

12. *Соколовский В. В.* Теория пластичности. М.: АН СССР, 1946. 520 с.

13. *Вялов С. С., Зарецкий Ю. К.* Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений. М.: АН СССР, 1962. 254 с.

14. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.

15. *Вялов С. С.* Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М.: АН СССР, 1959. 310 с.

16. *Богомолов А. Н.* FEA // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 от 23 июля 2015 г.

© Богомолов А. Н., Абрамов Г. А., Богомолова О. А., Богдан А. В., 2016

Поступила в редакцию
в августе 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Устойчивость круглой и полуэллиптической выработок, пройденных в изотропном грунтовом откосе на уровне его подошвы / А. Н. Богомолов, Г. А. Абрамов, О. А. Богомолова, А. В. Богдан // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 4—11.

Об авторах:

Богомолов Александр Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; проф. кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, banzaritcyn@mail.ru

Абрамов Генрих Артурович — аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, z_genrih@mail.ru

Богомолова Оксана Александровна — канд. техн. наук, доц. кафедры математики и информационных технологий, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, banzaritcyn@mail.ru

Богдан Андрей Владимирович — соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

A. N. Bogomolov, G. A. Abramov, O. A. Bogomolova, A. V. Bogdan

STABILITY OF CIRCULAR AND SEMIELLIPTICAL DEVELOPMENTS IN ISOTROPIC SOIL SLOPE AT THE LEVEL OF ITS BASE

The article provides the results of calculations for the determination of the values of safe internal friction angle which ensure long-term stability of the developments of circular and semielliptical section. These values diminish homogeneous slope at the level of its base. It is shown that safe internal friction angles are practically the same for the developments of circular and semielliptical section provided that physical and mechanical properties of the composing soil, geometrical parameters of the slope and cross section values of the development are identical.

K e y w o r d s: soil slope, diminishing circular and semielliptical horizontal developments, stability criterion for the development, physical and mechanical properties of soil, safe internal friction angle of the composing soil.

REFERENSES

1. Bogomolov A. N., Abramov G. A., Bogomolova O. A., Tsvetkova E. V. [Calculation of stability of unsupported round development in soil slope]. *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], 2016, iss. 43(62), pp. 5—13.

2. Bogomolov A. N., Abramov G. A., Bogomolova O. A., Podtelkov V. V., Yakimenko I. V. [Assessment of stability of circular developments of various diameter finished in homogeneous soil slope at the level of its base]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2016, iss. 44(63), p. 1, pp. 12—20.

3. Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Shiyan S. I. [About Two Criteria of Stability of Soil Slopes and Slants]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika* [Modern Technologies in Construction. Theory and Practice. Proc. of All-Russian Seminar, Perm, 22—23 Sep. 2009]. Perm, PSTU Publ., 2009. Pp. 54—58.

4. Bogomolov A. N., Shiyan S. I. [About Criterion of Safe Operation of Soil Slope of a Navigation Canal]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2008, no. 4, pp. 95—98.

5. Bogomolov A. N., Shiyan S. I., Bogomolova O. A. [Calculation of stability of slopes taking into account their mutual influence as a part of a soil structure]. *Hydroengineering construction*, 2014, no. 7, pp. 37—40.

6. Bogomolov A. N., Shiyan S. I., Bogomolova O. A., Nestratov M. Yu., Solov′ev A. V. [Criterion of Safe Operation and Coefficients of the Stock of Slip-off Slopes]. *Zbirnik naukovikh prats. Galuzeve Mashinobuduvannya, budivnitstvo*. Poltava, PoltNTU Publ., 2010. Iss. 3(28). Pp. 49—54.

7. Bogomolov A. N., Nestratov M. Yu., Soloviev A. V., Shiyan S. I. [The new criterion of evaluation of protracted stability of homogeneous slopes based on the analysis of tense deformed condition]. *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], 2009, iss. 14(33), pp. 5—12.

8. Coulomb C. *Application des rigles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L`architecture*. Memoires de savants etrangers de L`Academlie des sciences de Paris, 1773.

9. Trofimenkov Yu. G., Vorobkov L. N. *Polevye metody issledovaniya stroitel'nykh svoistv gruntov* [Field identification procedures of construction properties of soils]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1981. 215 p.

10. Lomtadze V. D. *Fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki gornykh porod. Metody laboratornykh issledovanii* [Physical and mechanical properties of rock formations. Methods of laboratory researches]. Leningrad, Nedra Publ., 1990. 328 p.

11. Sokolovskii V. V. *Statika sypuchei sredy* [Statics of loose medium]. Moscow, Leningrad, 1942. 207 p.

12. Sokolovskii V. V. *Teoriya plastichnosti* [Plasticity Theory]. Moscow, The Academy of Sciences of the USSR, 1946. 520 p.

13. Vyalov S. S., Zaretskii Yu. K. *Prochnost' i polzuchest' merzlykh gruntov i raschety ledogruntovykh ograzhdenii* [Strength and creep of frozen soils and design of ice and soil enclosures]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1962. 254 p.

14. Vyalov S. S. *Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov* [Rheological Bases of Soil Mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1978. 447 p.

15. Vyalov S. S. *Reologicheskie svoistva i nesushchaya sposobnost' merzlykh gruntov* [Rheological properties and bearing capacity of frozen soils]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1959. 310 p.

16. Bogomolov A. N. *FEA. Certificate of State Registration of the Computer Programme no. 2015617889 dated July 23, 2015*.

For citation:

Bogomolov A. N., Abramov G. A., Bogomolova O. A., Bogdan A. V. [Stability of circular and semielliptical developments in isotropic soil slope at the level of its base]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2016, iss. 45(64) pp. 4—11.

About authors:

Bogomolov Aleksandr Nikolaevich — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Vice-Rector for Scientific Research, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; Professor of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnic University. 29, Komsomolskii Prospect, Perm′, 614990, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

Abramov Genrikh Arturovich — Postgraduate student Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, z_genrih@mail.ru

Bogomolova Oksana Aleksandrovna — Candidate of Engineering Science, Docent of Mathematics and Information Technology Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

Bogdan Andrei Vladimirovich — Degree-seeking student Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 519.6:622.26:624.131.52

А. Н. Богомолов[а, б], Е. А. Степанова[а], О. А. Богомолова[а], Е. В. Цветкова[а], Е. М. Либурацков[а]

[а] Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
[б] Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Приведены результаты численного анализа процесса проседания земной поверхности над горизонтальными подземными выработками с поперечным сечением в виде квадрата и половины эллипса. Показано, что в случае однородного и изотропного вмещающего массива максимальное оседание земной поверхности зависит от величины коэффициента бокового давления грунта (породы), глубины заложения выработки, размеров и формы ее поперечного сечения, а также что мульда оседания для всех рассмотренных вариантов расчета имеет седлообразную форму. Установлено, что при всех прочих равных условиях оседание земной поверхности над полуэллиптической выработкой всегда значительно меньше, чем над квадратной. При увеличении коэффициента бокового давления вмещающего грунта и глубины заложения выработки (при неизменных других условиях) величины вертикальных смещений дневной поверхности уменьшаются. Увеличение геометрических размеров поперечного сечения выработки во всех случаях ведет к увеличению численных значений осадок.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подземная выработка, форма и размер поперечного сечения, глубина заложения выработки, мульда оседания земной поверхности, коэффициент бокового давления

Разработка моделей [1—4], методов расчета [5—8] и прогноза [3, 7—9] протекания процесса оседания земной поверхности, связанного с подработкой территории, является весьма актуальным. Это обусловлено интенсификацией добычи твердых полезных ископаемых закрытым способом, развитием объемов добычи в нефтегазовом комплексе, как на море [10], так и на суше, активным развитием подземного строительства.

При использовании существующих методик расчета горизонтальных и вертикальных сдвижений земной поверхности по известным формулам [11, с. 39—44] определяют ожидаемые деформации

$$\begin{cases} \eta = \eta_{\max} S_z; \\ i = \eta_{\max} S_z' / L; \\ K = \eta_{\max} S_z'' / L^2; \\ \xi = \eta_{\max} F_z; \\ \varepsilon = \eta_{\max} F_z' L, \end{cases} \qquad (1)$$

где η, i, K, ξ, ε — соответственно оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение и относительная горизонтальная деформация в точках z расчетной полумульды; L, S_z, S''_z, F_z, F'_z — переменные величины, характеризующие типовое распределение оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдви-

жений и относительных горизонтальных деформаций в точках *z* расчетной полумульды; η_{max} — максимальное оседание земной поверхности.

Для получения расчетных величин, величины, полученные по формулам (1), умножают на коэффициенты перегрузки.

Из формул (1) видно, что для определения всех перечисленных в комментарии к ней величин необходимо определить величину η_{max}, которая, очевидно, зависит от физико-механических и деформационных свойств слагающих грунтов, глубины заложения выработки, размеров и *формы* ее поперечного сечения.

На рис. 1—9 приведены изображения поперечников и горизонтальных проекций мульд оседания земной поверхности подработке территорий. Все эти картины получены либо на основе теоретических расчетов, либо на основе мониторинга процесса осадки земной поверхности при подработке.

Из этих рисунков видно, что первоначально во всех случаях (теоретический расчет или мониторинг) мульда оседания имеет седлообразную форму, которая по истечении некоторого времени может искажаться (рис. 1, 10) [1, 8], что обусловлено процессами трансформации напряженно деформированного состояния вмещающего массива вокруг выработки.

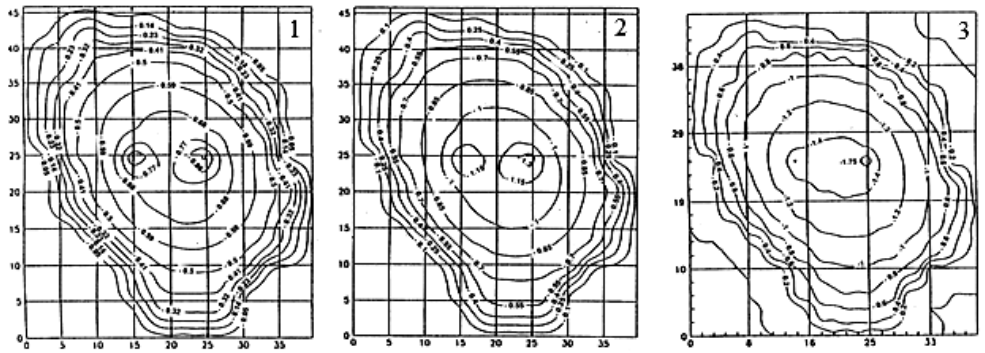
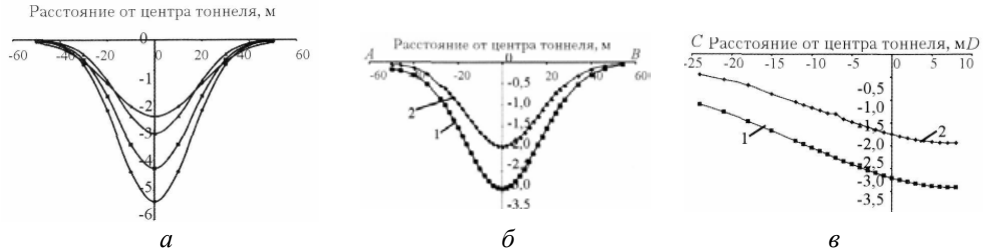
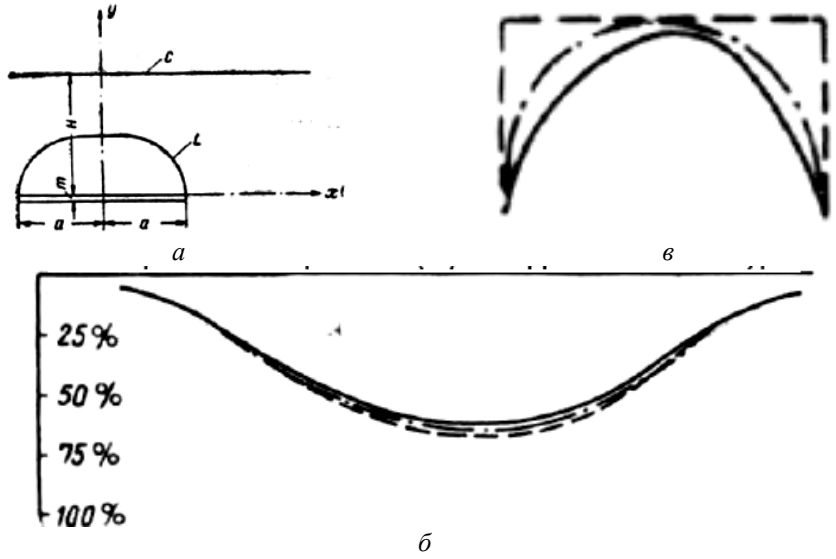


Рис. 1. Карта изолиний проседания поверхности дна над Штокмановским газоконденсатным месторождением при разработке на истощение пластов Ю0 и Ю1 с учетом деформации глинистых пропластков: *1* — за 10 лет; *2* — за 20 лет; *3* — за 30 лет [10]



а *б* *в*

Рис. 2. Модель осадки грунта на поверхности земли (*а*); схема осадки поверхности грунта на отрезке *AB* (вкрест выработки) (*б*) и на отрезке *CD* (вдоль выработки) (*в*) [1]



а *в* *б*

Рис. 3. Расчетная схема (*а*); влияние формы контура области разрушения на величину перемещений поверхности (*б*); принятая форма контура (*в*) [2]

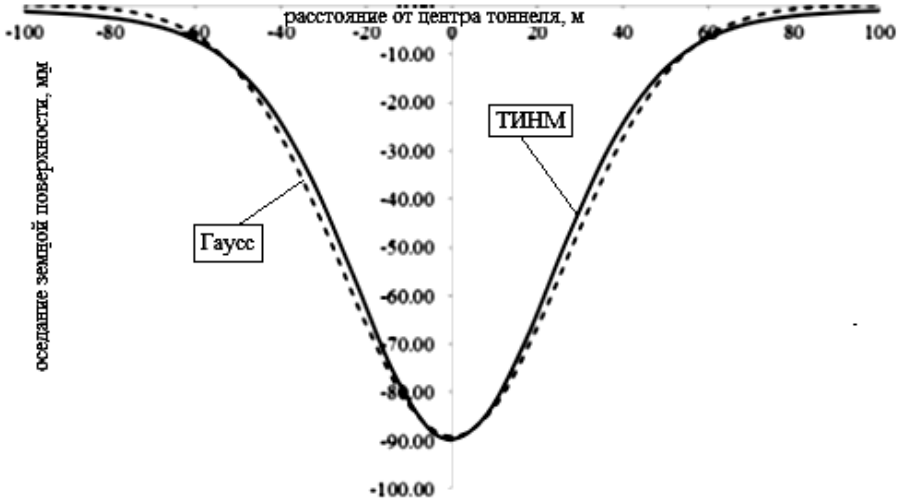


Рис. 4. Сравнение результатов прогнозов оседания земной поверхности, полученных по различным методикам: ТИНМ — трансверсально-изотропная нелинейно-упругая модель среды; Гаусс — функция нормального распределения [3]

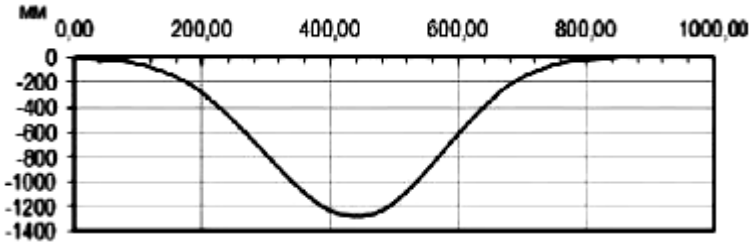


Рис. 5. Мульды оседаний земной поверхности поперек простирания пласта [5]

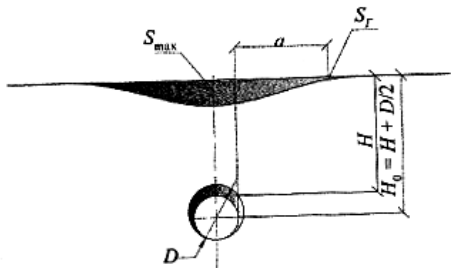


Рис. 6. Ширина зоны влияния строительства коммуникационного тоннеля a в зависимости от граничного перемещения грунта $S_Г$ [4]

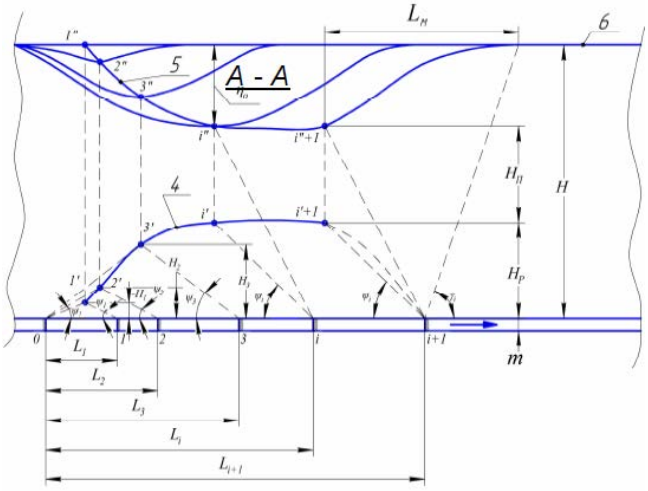


Рис. 7. Параметры процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности в вертикальной плоскости при развитии очистных работ [6]

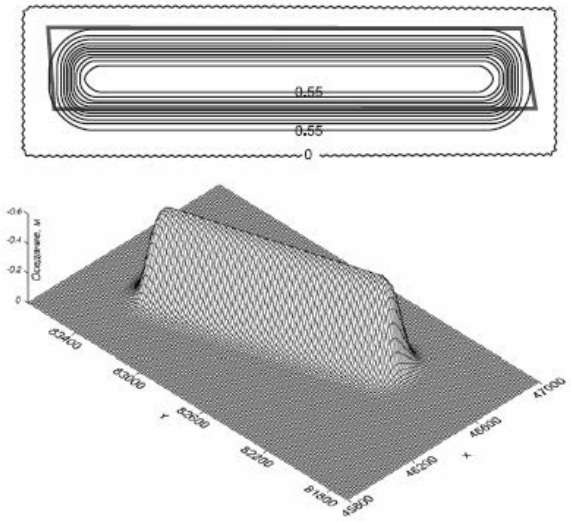


Рис. 8. Ожидаемые оседания земной поверхности, представленная в двух и трехмерном пространствах (лава 451, пласт XXIV, ш. «Первомайская») [7]

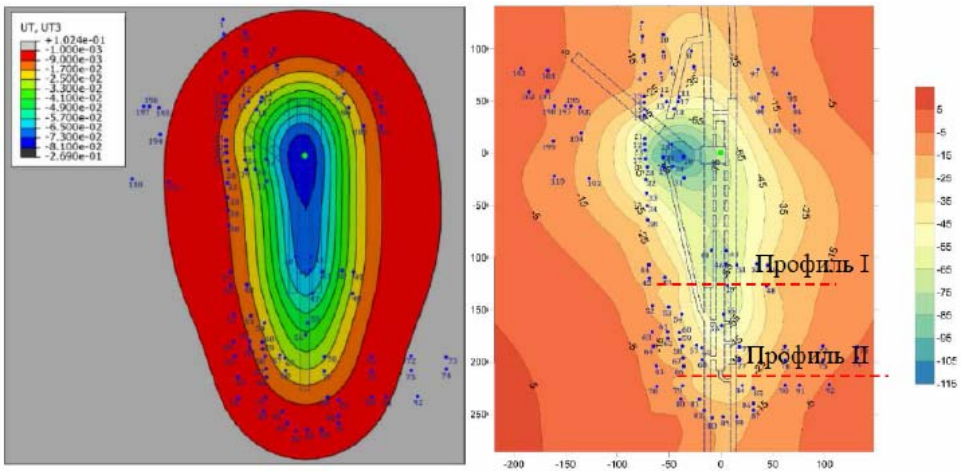
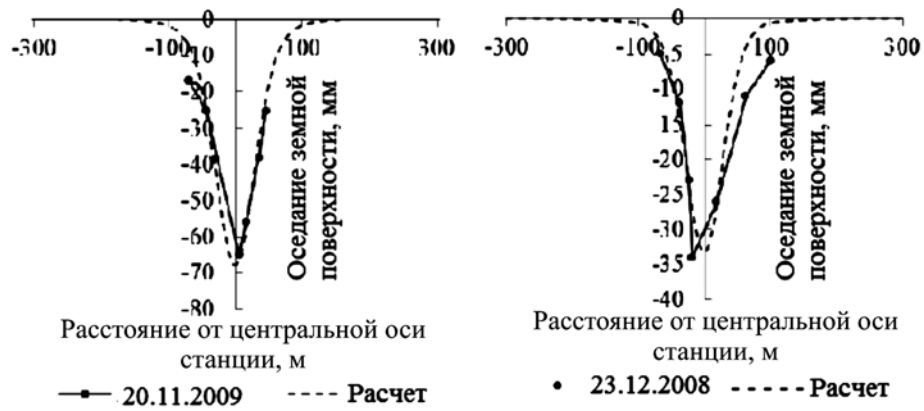


Рис. 9. Мульда оседания земной поверхности по результатам численного моделирования (стация метрополитена «Обводной канал»: пунктиром показан контур элементов станции метрополитена, которые учитывались при выполнении численного моделирования [8])



а *б*

Рис. 10. Сравнение замеренных и прогнозных величин вертикальных смещений земной поверхности по профилю I (*а*) и профилю II (*б*) [9]

Ни в одной из рассмотренных работ, к сожалению, не сделан акцент на то, какова форма подземной выработки, не рассматриваются выработки, у которых размеры поперечного сечения меняются. В этих работах нет данных о влиянии величины коэффициента бокового давления вмещающего грунта на размеры и форму мульды оседания.

В связи с этим нами поставлена задача выяснить, каким образом форма и размер поперечного сечения подземной выработки, а так же величина коэффициента бокового давления вмещающего массива влияют на величину максимального оседания земной поверхности η_{max} и форму мульды оседания.

Для решения этой задачи при помощи компьютерных программ [12, 13] выполнены расчеты величин перемещений точек земной поверхности, расположенных над горизонтальными выработками с сечением в виде квадрата и

полуэллипса, имеющих геометрические размеры 2,4 × 2,4 м; 4,0 × 4,0 м; 8,0 × 8,0 м, расположенных на разной глубине 5,2; 10,0; 15,2 и 20 м при условии, что величина коэффициента бокового давления вмещающего массива поочередно принимает значения ξ_o= 0,2; 0,5; 0,75; 0,99.

Величина расчетного модуля деформации для всех вариантов расчета принята равной $E_p = 500\gamma h$ (γ — объемный вес грунта; h — поперечный размер подземной выработки).

Формы сечений подземных выработок выбрана подобными тем, что встречаются в природе в устойчивом состоянии: полуэллипсу (рис. 11, *а*, *б*) и квадрату (рис. 11, *в*, *г*).

а *б* *в* *г*

Рис. 11. Находящиеся в устойчивом состоянии пещеры и выработки с формой поперечного сечения, приближенной к полуэллипсу (*а*, *б*) и квадрату (*в*, *г*) (фото с сайтов http://techno.bigmir.net; http://www.symbolizm.ru; http://duhrost.ru; http://4bp.blogsport.com)

В на основе анализа и обработки данных, полученных в результате вычислений, построены эпюры вертикальных перемещений (графики оседания) точек земной поверхности для всех комбинаций численных значений переменных расчетных параметров. Часть полученных графических изображений, в частности, для полуэллиптического и квадратного сечений размером 2 × 2 и 4 × 4 м, приведена ниже (рис. 12—19).

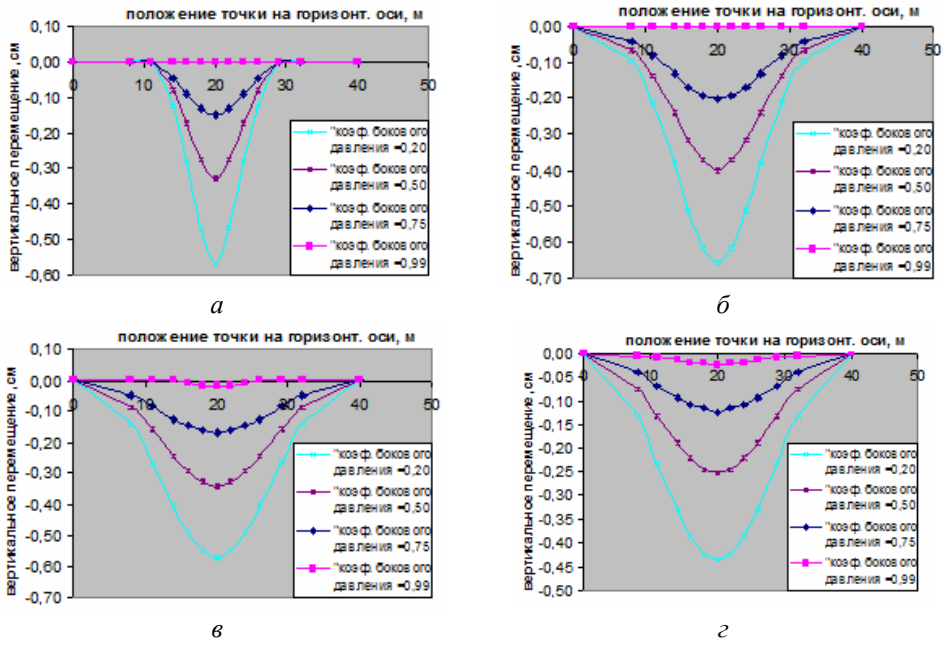


Рис. 12. Графики оседания земной поверхности над подземной выработкой (полуэллипс размером 4 × 4 м), отработанной на глубине 5,2 м (*а*); 10,0 м (*б*); 15,2 м (*в*) и 20 м (*г*) при различных численных значениях ξ_o = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99

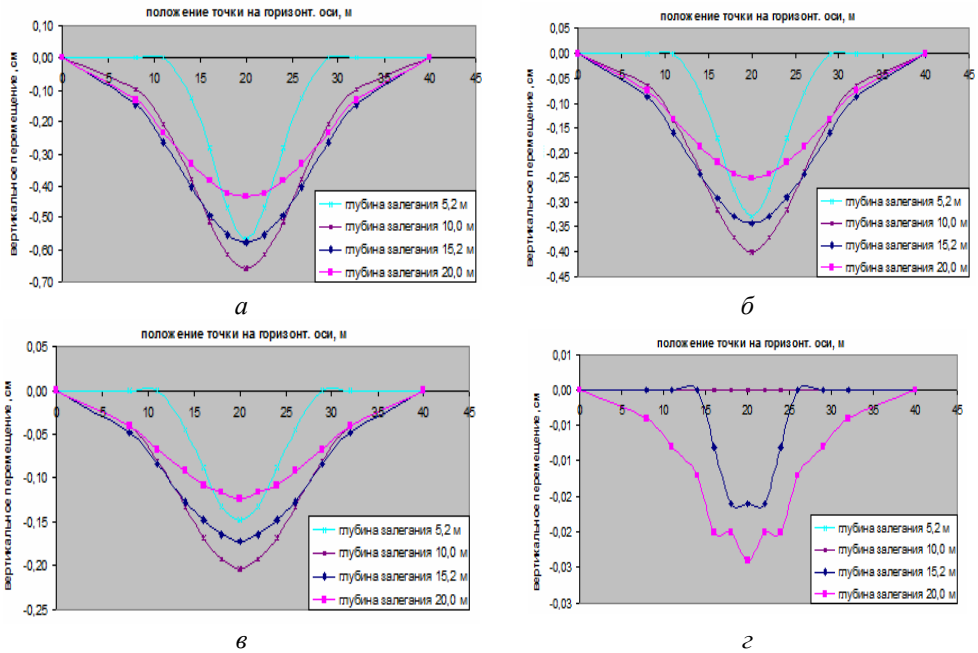


Рис. 13. Графики оседания земной поверхности над подземной выработкой (полуэллипс размером 4 × 4 м), отработанной на глубинах 5,2 м; 10,0 м; 15,0 м; 20,0 м при численных значениях ξ_o = 0,2 (*а*); ξ_o = 0,5 (*б*); ξ_o = 0,75 (*в*); ξ_o = 0,99 (*г*)

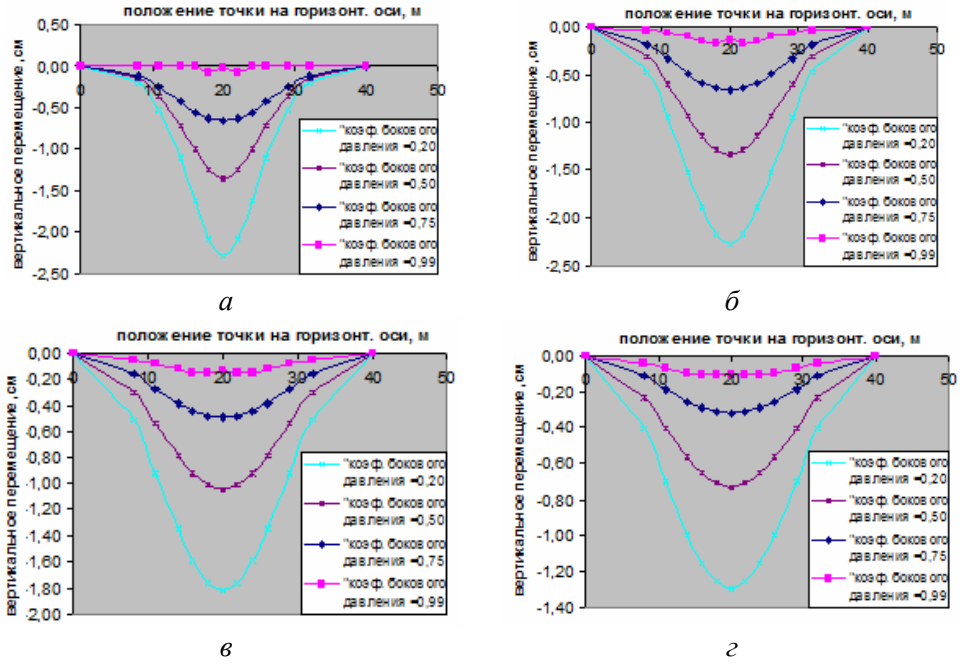


Рис. 14. Графики оседания земной поверхности над подземной выработкой (полуэллипс размером 8 × 8 м), отработанной на глубине 5,2 м (*а*); 10,0 м (*б*); 15,2 м (*в*) и 20 м (*г*) при различных численных значениях ξ_o = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99

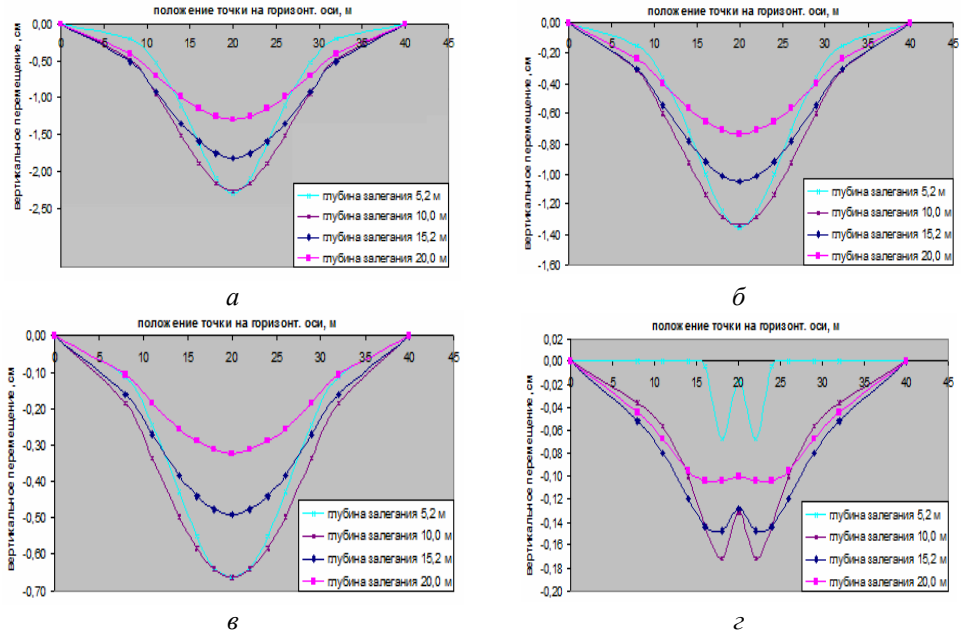


Рис. 15. Графики оседания земной поверхности над подземной выработкой (полуэллипс размером 8 × 8 м), отработанной на глубинах 5,2 м; 10,0 м; 15,0 м; 20,0 м при численных значениях ξ_o = 0,2 (*а*); ξ_o = 0,5 (*б*); ξ_o = 0,75 (*в*); ξ_o = 0,99 (*г*)

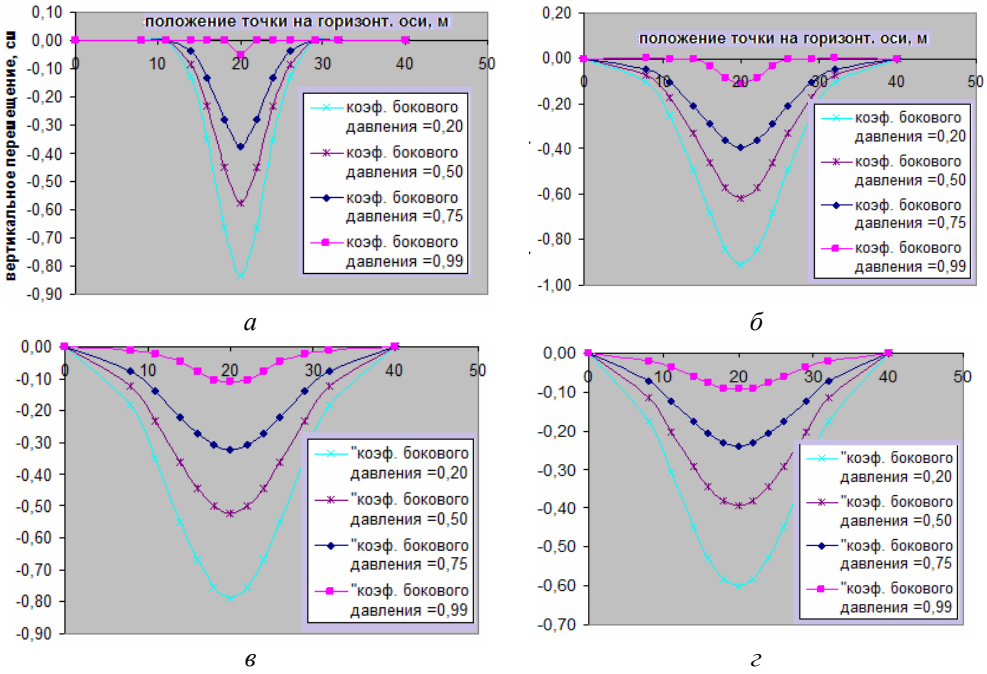


Рис. 16. Графики оседания земной поверхности над квадратной выработкой размером 4 × 4 м, отработанной на глубине 5,2 м (*а*); 10,0 м (*б*); 15,2 м (*в*) и 20 м (*г*) при различных численных значениях коэффициента бокового давления грунта ξ_o= 0,2; 0,5; 0,75; 0,99

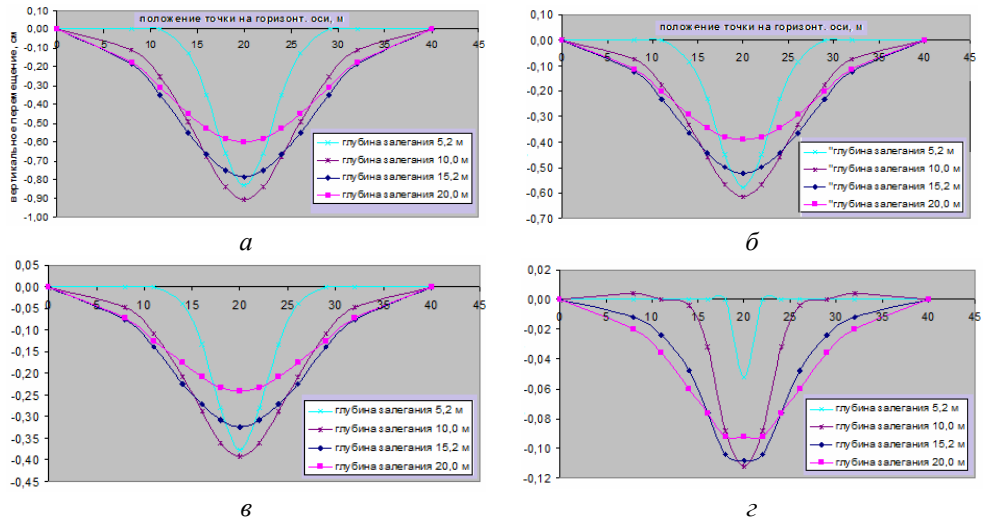


Рис. 17. Графики оседания земной поверхности над квадратной выработкой размером 4 × 4 м, отработанной на глубинах 5,2 м; 10,0 м; 15,0 м; 20,0 м при численных значениях коэффициента бокового давления грунта ξ_o = 0,2 (*а*); ξ_o = 0,5 (*б*); ξ_o = 0,75 (*в*); ξ_o = 0,99 (*г*)

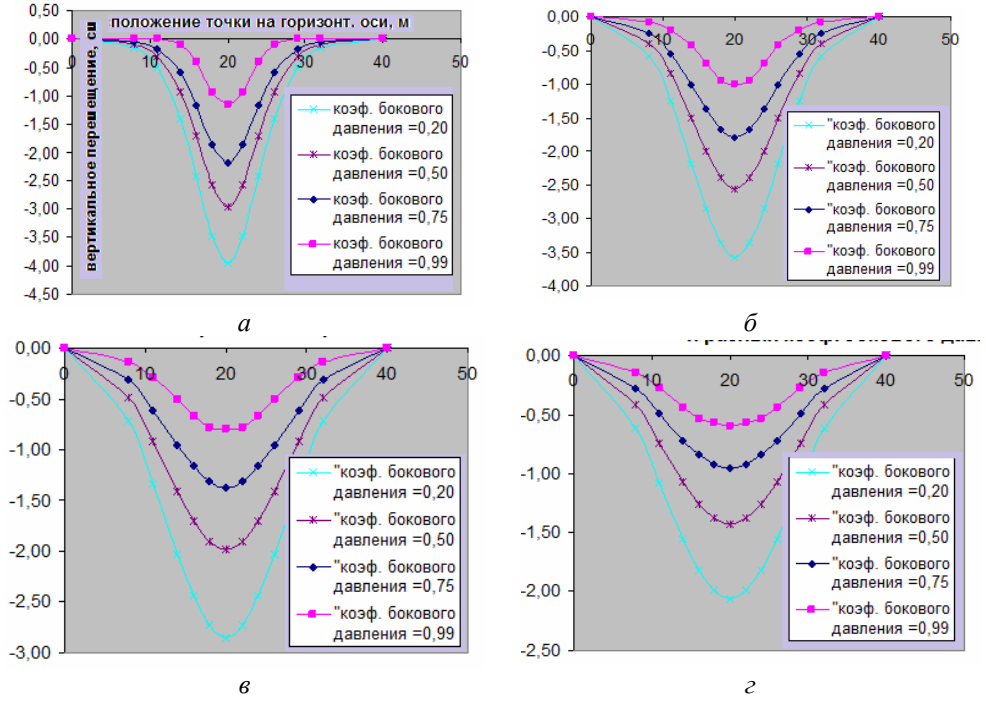


Рис. 18. Графики оседания земной поверхности над квадратной выработкой размером 8 × 8 м, отработанной на глубине 5,2 м (*а*); 10,0 м (*б*); 15,2 м (*в*) и 20 м (*г*) при различных численных значениях коэффициента бокового давления грунта ξ_o = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99

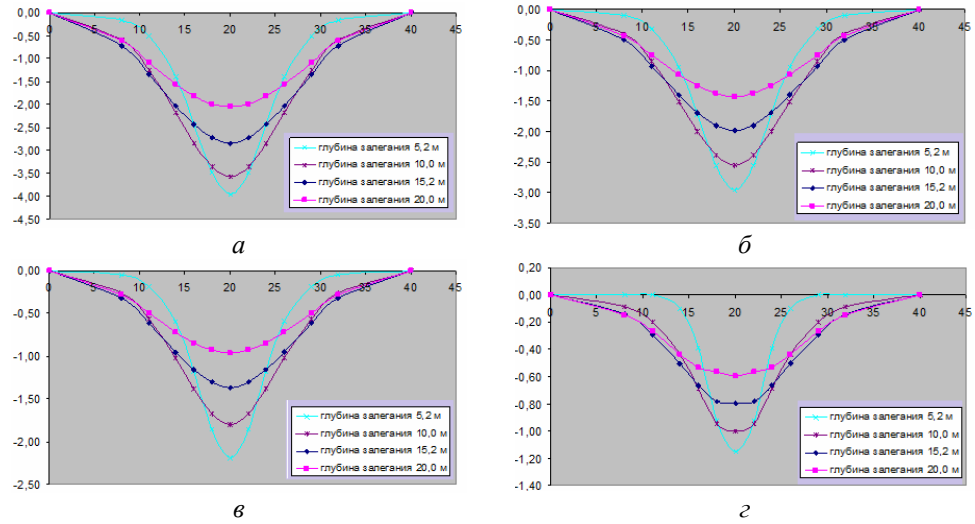


Рис. 19. Графики оседания земной поверхности над квадратной выработкой размером 8 × 8 м, отработанной на глубинах 5,2 м; 10,0 м; 15,0 м; 20,0 м при численных значениях коэффициента бокового давления грунта ξ_o = 0,2 (*а*); ξ_o = 0,5 (*б*); ξ_o = 0,75 (*в*); ξ_o = 0,99 (*г*)

Анализ графиков оседания земной поверхности позволяет отметить некоторые особенности:

при всех прочих равных условиях увеличение поперечного размера выработки влечет за собой изменение ординат эпюры вертикальных смешений (осадок) в большую сторону;

увеличение глубины заложения выработки, напротив, влечет за собой изменение ординат эпюры вертикальных смешений (осадок) в меньшую сторону;

при изменении коэффициента бокового давления ξ_o вмещающего массива грунта от 0,2 до 0,99 вертикальные смещения соответствующих точек земной поверхности существенно уменьшаются.

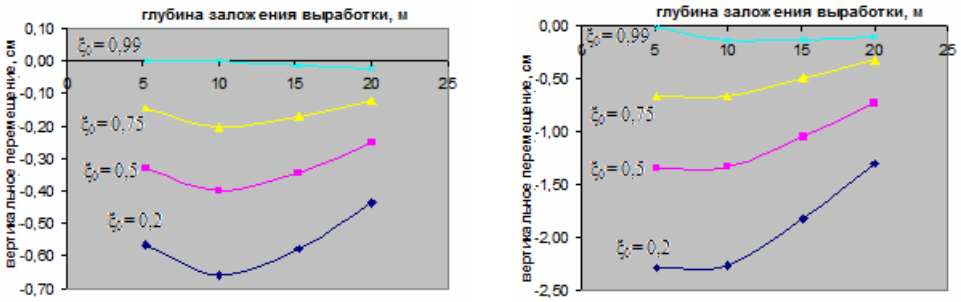
На рис. 20 и 21 приведены зависимости вида $\Delta S_o = f(H_з)$ (зависимость оседания точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии подземной выработки ΔS_o, от глубины заложения выработки $H_з$) для полуэллиптической и квадратной выработок, анализ которых показывает, что при всех прочих равных условиях:

увеличение глубины заложения выработки и величины коэффициента бокового давления уменьшает численные значения вертикальных смещений соответствующих точек дневной поверхности, а увеличение размера поперечного сечения выработки, напротив, ведет к увеличению ΔS_o;

как для полуэллиптической выработки, так и для квадратной зависимость $\Delta S_o = f(H_з)$ не является линейной, однако при увеличении размера поперечного сечения выработки кривизна соответствующих кривых уменьшается, что свидетельствует об уменьшении нелинейности данной зависимости;

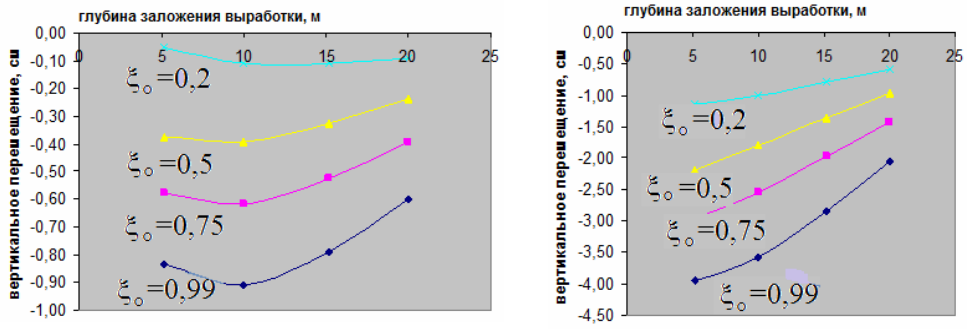
если поперечный размер выработки 4 × 4 м, то из рис. 20, *а* и 21, *а* видно, что максимальное смещение ΔS_o соответствует глубине заложения выработки $H \approx 10$ м, однако при увеличении поперечного размера, эта особенность постепенно пропадает (см. рис. 15, *г*);

при всех рассмотренных в работе переменных расчетных параметрах величина вертикального смешения соответствующих точек дневной поверхности всегда меньше, если подземная выработка имеет поперечное сечение в виде полуэллипса.



а *б*

Рис. 20. Графики зависимости оседания точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии полуэллиптической выработки, от глубины ее заложения при различных значениях коэффициента бокового давления грунта при размерах поперечного сечения 4,0 × 4,0 м (*а*) и 8,0 × 8,0 м (*б*)



а *б*

Рис. 21. Графики зависимости оседания точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии квадратной выработки, от глубины ее заложения при различных значениях коэффициента бокового давления грунта при размерах поперечного сечения 4 × 4 м (*а*) и 8 × 8 м (*б*)

Таким образом, размеры и форма мульды оседания земной поверхности при условии однородности и изотропности вмещающего массива зависят от размеров и формы поперечного сечения выработки, глубины ее заложения и коэффициента бокового давления грунтового массива. Для установления количественных зависимостей между вышеперечисленными параметрами необходимо выполнить дополнительные численные исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осадки грунта, вызванные проходкой тоннелей (на примере Тегеранского метро) / Х. Чакери, А. Талебинежад, М. Мусави, Б. Юнвер // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 4. С. 12—15.

2. *Лапидус Л. С.* К вопросу расчета перемещений земной поверхности, вызванных подземными работами // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1961. № 1. С. 20—22.

3. *Карасев М. А.* Прогноз оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений глубокого заложения в условиях Санкт-Петербурга // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 248—254.

4. *Петрухин В. П., Исаев О. Н., Шарафутдинов Р. Ф.* Определение зоны влияния строительства коммуникационных тоннелей // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. № 4. С. 24—27.

5. Спутниковый радарный интерферометрический мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна / Ф. К. Низаметдинов, Д. В. Мозер, Н.И. Гей, А. С. Туякбай, А. Д. Каранеева // Геоматика. 2014. № 4. С. 70—77.

6. *Пыжов С. В., Антощенко Н. И., Филатьев М. В.* Теоретическое обоснование параметров минимально возможной степени подработанности земной поверхности при выемке угольных пластов // Збірник наукових праць ДонДТУ. 2014. № 2 (43). С. 30—34.

7. *Писаренко М. В., Борисов И. Л.* Использование ГИС технологий для определения ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 1(39). С. 69—71.

8. *Карасев М. А., Беляков Н. А.* Прогноз деформаций земной поверхности при строительстве станций метрополитена в твердых глинах // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 1. С. 139—155.

9. *Бугаева Н. А.* Научные основы стохастического прогноза деформаций земной поверхности при ее подработке // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». 2011. Вип. 13(178). С. 63—69.

10. *Кульпин Л. Г.* Баренцево море. Прогноз и преодоление техногенных осложнений при разработке газовых гигантов в условиях гидратонасыщенности придонных слоев и опускания дна моря // Труды международной технологического симпозиума «Новые технологии разработки и повышения нефтеотдачи». М., 2005. С. 1—8.

11. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / под общ. ред. В. А. Букринского и Г. В. Орлова. М.: Недра, 1984. 247 с.

12. Богомолов А. Н. FEA. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 от 23 июля 2015 г.

13. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.

© Богомолов А. Н., Степанова Е. А., Богомолова О. А., Цветкова Е. В., Либурацков Е. М. , 2016

Поступила в редакцию
в августе 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Численный анализ оседания земной поверхности над горизонтальными выработками / А. Н. Богомолов, Е. А. Степанова, О. А. Богомолова, Е. В. Цветкова, Е. М. Либурацков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 12—26.

Об авторах:

Богомолов Александр Николаевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; проф. кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, banzaritcyn@mail.ru

Степанова Екатерина Александровна — аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ekserstepan@bk.ru

Богомолова Оксана Александровна — канд. техн. наук, доц. кафедры математики и информационных технологий, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, banzaritcyn@mail.ru

Цветкова Елена Владимировна — канд. техн. наук, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, Elentsvetkova@yandex.ru

Либурацков Евгений Михайлович — соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

A. N. Bogomolov, E. A. Stepanova, O. A. Bogomolova, E. V. Tsvetkova, E. M. Liburatskov

THE NUMERICAL ANALYSIS OF GROUND SURFACE SUBSIDENCE OVER HORIZONTAL DEVELOPMENTS

The article provides the results of the numerical analysis of ground surface subsidence process over horizontal underground developments with cross section in the form of a square and semi-ellipse. It is shown that in case of homogeneous and isotropic enclosing massive, the maximum ground surface subsidence depends on the coefficient of the lateral pressure of soil (breed), the laying depth of the development, the sizes and forms of its cross section. It is also shown that the subsidence trough for all the considered variants of calculation is of the saddle form. It is established that under all other equal conditions ground surface subsidence over semielliptical development is always far less than over a square one. When increasing lateral pressure coefficient of the enclosing soil and the laying depth of the development (under other invariable conditions), the values of vertical shits of a daylight surface decrease. The increase of geometrical parameters of the cross section of the development in all cases leads to the increase of the numerical values of subsidence.

K e y w o r d s: underground development, form and size of the cross section, laying depth of the development, trough of ground surface subsidence, lateral pressure coefficient.

REFERENSES

1. Chakeri H., Talebinejad A., Moosavi M., Ünver B. Tunneling-induced ground movements on Tehran Metro. S*oil Mechanics and Foundation Engineering*, September 2012, 49(4), pp 132—138.

2. Lapidus L. S. [Towards the issue of calculation of earth surface haul caused by underground works]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Soil Mechanics and Foundation Engineering], 1961, no. 1, pp. 20—22.

3. Karasev M.A. [Prediction of surface settlements duo to construction of underground structures in geological condition of Saint Petersburg]. *Zapiski Gornogo instituta* [Proceedings of the Mining Institute], 2013, vol. 204, pp. 248—254.

4. Petrukhin V. P., Isaev O. N., Sharafutdinov R. F. Determination of the Zone of Influence of Utility-Tunnel Construction. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, September 2013, 50(4), pp. 164—170. DOI: 10.1007/s11204-013-9229-5

5. Nizametdinov F. K, Mozer D. V., Gei N. I., Tuyakbai A. S., Karaneeva A. D. [Satellite radar interferometric monitoring of subsided areas in the Karaganda coal basin]. *Geomatika* [Geomatics], 2014, no. 4, pp. 70—77.

6. Pyzhov S. V., Antoshchenko N. I., Filat'ev M. V. [Theoretical justification for the parameters of lowest possible level of subsided earth surface at the extraction of a coal layer]. *Zbirnik naukovikh prats' DonDTU* [Set of scientific works of DonDTU], 2014, no. 2 (43), pp. 30—34.

7. Pisarenko M., Borisov I. [The use of the GIS technologies for calculating the anticipated movement and deformations of the earth surface]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie* [Mine surveying and subsurface use], 2009, no. 1(39), pp. 69—71.

8. Karasev M. A., Belyakov N. A. [Estimation of surface settlements troughs due to subway station construction in claystone]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [News of the Tula state university. Sciences of Earth], 2016, iss. 1, pp. 139—155.

9. Bugaeva N. A. [Scientific basis for the stochastic prognosis of the deformations of the earth surface in case of its subsidence]. *Naukovi pratsi DonNTU. Series* "*Girnicho-geologichna*", 2011, iss. 13(178), pp. 63—69.

10. Kul'pin L. G. [Barents Sea. Forecast and overcoming of technogenic complications when developing gas giants in the conditions of hydrate saturation of bottom layers and lowering of seabed] *Trudy mezhdunarodnoi tekhnologicheskogo simpoziuma «Novye tekhnologii razrabotki i povysheniya nefteotdachi»* [Proc. of the Int. Tech. Symposium "New Technologies of Development and Increase in Oil Recovery"]. Moscow, 2005. Pp. 1—8.

11. Bukrinskii V. A. and Orlov G. V. (ed.). *Sdvizhenie gornykh porod i zemnoi poverkhnosti pri podzemnykh razrabotkakh* [Movement of rocks and earth surface at underground extraction]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 247 p.

12. Bogomolov A. N. *FEA. Certificate of State Registration of the Computer Programme no. 2015617889 dated July 23, 2015.*

13. Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Nestratov M. Yu., Nestratov N. N., Potapova N. N., Stepanov M. M., Ushakov A. N. *Ustoichivost' (napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie)* [Stability (stress-strain state)]. Patent RF, no. 2009613499, 2009.

For citation:

Bogomolov A. N., Stepanova E. A., Bogomolova O. A., Tsvetkova E. V., Liburatskov E. M. [The numerical analysis of ground surface subsidence over horizontal developments]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 12—26.

About authors:

Bogomolov Aleksandr Nikolaevich — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Vice-Rector for Scientific Research, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; Professor of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnic University. 29, Komsomolskii Prospect, Perm′, 614990, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

Stepanova Ekaterina Aleksandrovna — Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ekserstepan@bk.ru

Bogomolova Oksana Aleksandrovna — Candidate of Engineering Science, Docent of Mathematics and Information Technology Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

Tsvetkova Elena Vladimirovna — Candidate of Engineering Science, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Elentsvetkova@yandex.ru

Liburatskov Evgenii Mikhailovich — Degree-seeking student Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 624.03

И. А. Маяцкая

Ростовский государственный строительный университет

О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ

Рассматриваются вопросы совершенствования строительных конструкций на основе закономерностей строения природных объектов. Развитие архитектурной бионики дает возможность применять в конструкциях принципы организации, свойства, функции и структуры живой природы. В данном исследовании большее внимание уделено растительных и биологических объектах, приведены принципы, на которых можно совершенствовать строительные конструкции с учетом закономерностей строения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: модель, объект, конструкция, форма, сооружение.

Актуальность исследований в области совершенствования строительных конструкций с учетом бионических принципов обусловлена развитием использования бионических форм при проектировании уникальных сооружений [1—4]. Это стало возможным с появлением новых материалов, давших толчок развитию бионической архитектуре. Следует отметить, что бионика — это прикладная наука о применении в технических устройствах и в конструкциях принципов организации, свойств, функций и структур живой природы. Различают три вида бионики: биологическую, теоретическую и техническую. В последней применяются модели теоретической бионики для решения инженерных задач [5—8]. В исследовании большее внимание уделено геометрической форме природных объектов и возможности применения этих закономерностей при проектировании строительных конструкций [9—11].

Перечислим факторы, которые определяют возможность аналитического подхода к моделированию сложных строительных конструкций на основе изучения закономерностей строения как растительных, так и биологических объектов:

степень изученности формы данного объекта и наличие теоретической базы, достаточной для его модельного описания в соответствии с поставленной целью исследования;

приемлемость ограничений и допущений, содержащихся в исходных теоретических построениях, применительно к требованиям задачи;

специфические свойства объектов, например, учет морфологических особенностей, степень сложности модели, удобство использования математических методов исследования и т. д.;

возможность и удобство введения в математическую модель необходимой информации, получаемой опытным путем;

возможность численного исследования исходного объекта;

применение найденных закономерностей при моделировании при численном решении поставленной задачи.

Интересны достижения такой науки, как архитектурная бионика, которая активно развивается в последнее время. В настоящее время архитектурно-

строительная бионика изучает законы формирования и структурообразования природных тканей, занимается анализом конструктивных систем живых организмов по принципу экономии материала, энергии и обеспечения надежности, решая вопрос о рациональности новых конструкций в сочетании с архитектурной пластикой, а также о функциональности оптимальной формы сооружения.

Очень интересны направления, связанные с поиском оптимальных по прочности биологических объектов [12—15]. Ранее в основном занимались растительными объектами, например, стеблями злаковых культур. Сейчас представляет интерес исследования по выявлению закономерностей строения живых организмов, имеющих форму оболочки. Оболочки могут быть гибкими или иметь композитное строение, например трехслойная оболочка с промежуточным слоем и достаточно разнообразным заполнителем. Безусловно, рассчитать аналитически эту сложную конструкцию будет сложно, поэтому лучше применять численные методы [16]. Среди них особое место занимает метод конечных элементов из-за его универсальности в программной реализации и возможности создания полностью автоматизированного расчета.

Итак, создание прочных и надежных строительных конструкций уникальной архитектуры с высокими показателями качества является важнейшей задачей строительства, а разработка рассматриваемого направления — архитектурной бионики — актуальна. Следует отметить, что архитектурная бионика тесно связана с технической бионикой, но занимает особое место, так как кроме технических задач она занимается и архитектурными проблемами.

Если изучить историю данного направления, то мы выясним, что архитекторы совместно с проектировщиками внедряли в практику пространственные конструктивные системы живой природы, которые были сложными для математического расчета [17—19]. И это позволяло развивать расчетные методы при проектировании уникальных конструкций.

Математическое моделирование уникальных сооружений открывает перспективы компьютерного исследования при проектировании зданий. Существует два метода, с помощью которых можно проводить автоматизированный прочностной расчет сложных конструкций: метод конечных элементов (МКЭ) и метод граничных элементов (МГЭ). Метод граничных элементов лучше использовать при расчете прочности однородных массивных трехмерных конструкций в линейной постановке задачи, в противном случае применяется метод конечных элементов, в особенности с учетом пластичности и ползучести материалов. Можно применять различные программные комплексы, например, ЛИРА и ANSYS.

Современное воплощение архитектурной бионики можно наблюдать в современных хорошо известных сооружениях, представленных на рис. 1—4.

На рис. 1 показана Останкинская башня — пример архитектурно-строительной бионики. Здесь использована структурная модель стеблей злаковых растений (рис. 5), где склеренхимные волокна стебля играют роль продольных нитей в виде канатов, а узлы — роль колец жесткости [5—7].

На рис. 2 показан олимпийский стадион «Фишт» в городе Сочи. При проектировании этого уникального сооружения британский архитектор Дэймон Лавелле опирался на форму тоже природного объекта — горы Фишт, показанной на рис. 6. Учитывая все особенности формы этого природного объ-

екта, проектировщики здания олимпийского стадиона «Фишт» спроектировали его с куполом, выполненным из прозрачного, крепкого пленочного материала, и название горы использовали в названии уникального сооружения.

Рис. 1. Модель сооружения в виде стебля

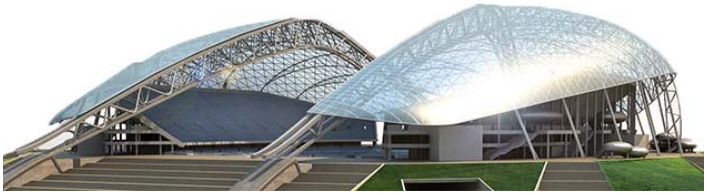


Рис. 2. Модель сооружения в виде крыльев жука

Рис. 3. Модель сооружения в виде овала

Рис. 4. Модель сооружения в виде изогнутого листа

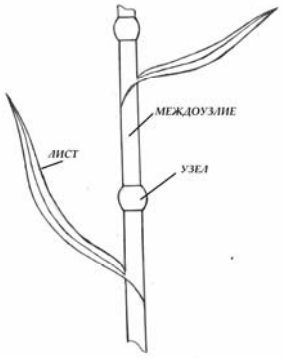


Рис. 5. Стебель пшеницы

Рис. 6. Гора Фишт

Архитектор реализовал в проекте природную конструкцию, очень напоминающую жука, который умеет раздвигать крылья. А как известно, жесткие крылья в сомкнутом состоянии очень прочные и хорошо защищают от повреждений. Так что это еще один пример использования строения природных объектов при проектировании сооружений.

Следующий объект — ледовый дворец «Большой» в г. Сочи. При проектировании этого здания олимпийского объекта использовалась модель в виде инкрустированного яйца Фаберже или огромной замерзшей капли. Следует отметить, что архитекторы этого сооружения сделали его незабываемо красивым и неповторимым. Данные формы, напоминающие овал, являются очень прочными и устойчивыми, а природа всегда выбирает рациональную форму.

Рассмотрим различные листовые пластинки. Листья — это природные объекты, которые выдерживают большую нагрузку несмотря на малую толщину пластины.

Листья имеют самую разнообразную форму (рис. 7): обладают симметричным и несимметричным расположением жилок относительно главной.

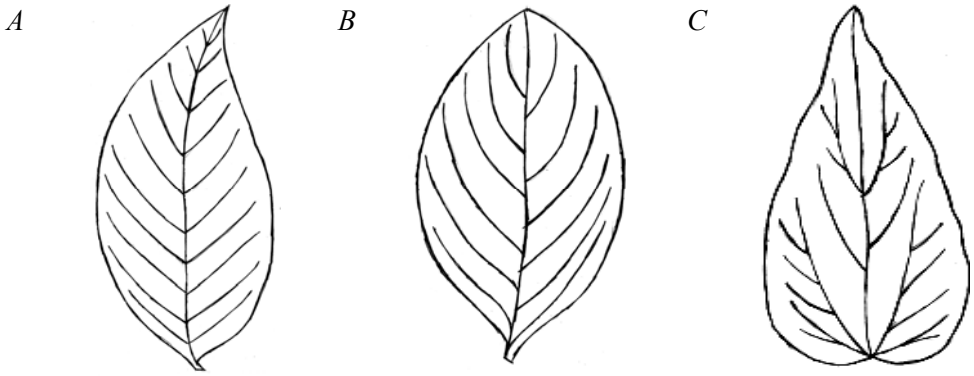


Рис. 7. Форма листьев: *A* — симметричное расположение жилок относительно главной жилки; *B* — несимметричное расположение жилок относительно главной жилки; *C* — различное расположение жилок по всей поверхности листа.

На рис. 4 изображен Водный стадион в Лондоне. Необыкновенные формы уникальных сооружений Захи Хадид гармонично вписываются в окружающий мир [20—22]. И очень бы хотелось, чтобы все проекты Захи Хадид были реализованы. Ее объекты связаны с теми тенденциями в архитектуре, которые используют самые разнообразные формы, как фантастические, так и природные. И заслужено архитектора Заху Хадид называют современным Гауди.

Рассмотрим пластину с различной сеткой узлов, которые имеют симметричное и кососимметричное расположение узлов относительно осей, проходящих через стороны квадратной пластины, а также симметричное расположение относительно диагоналей (рис. 8—11). Стальная пластина толщиной 2 см, размерами 1,0 × 1,0 м. Углы жестко защемлены. Нагрузка равномерно-распределенная по всей площади 1,0 кН/м^2. Мозаика вдоль оси *z*. Единица измерения нагрузки q — кН/м^2.

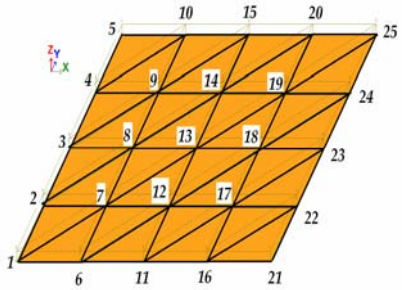


Рис. 8. Расположение узлов. Вариант 1

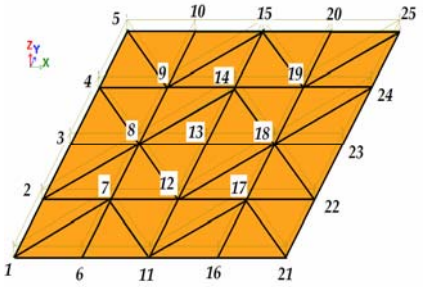


Рис. 9. Расположение узлов. Вариант 2

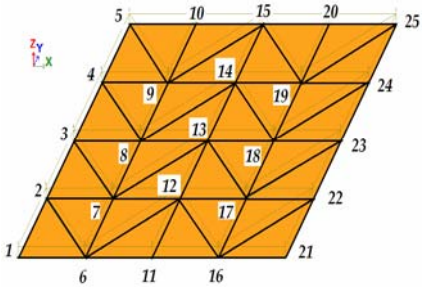


Рис. 10. Расположение узлов. Вариант 3

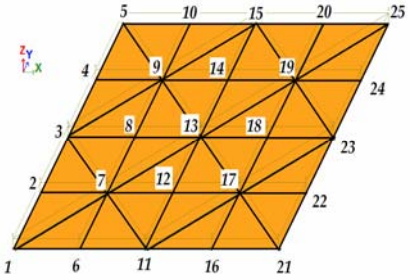


Рис. 11. Расположение узлов. Вариант 4

Рассмотрим прогибы плиты в узлах. На рис. 12—15 показаны изополя перемещений оси *z* для всех вариантов. В табл. 1 даны значения прогибов в узлах в мм. Сравнительный анализ выполнялся по отношению к перемещениям узлов пластины для варианта 1.

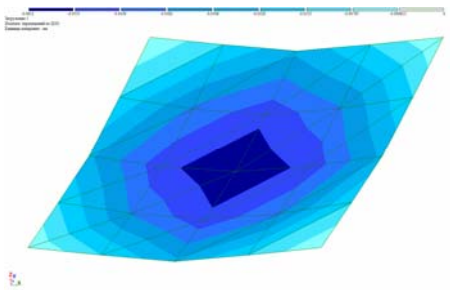


Рис. 12. Изополя перемещений. Вариант 1

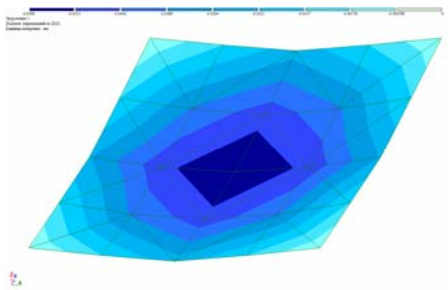


Рис. 13. Изополя перемещений. Вариант 2

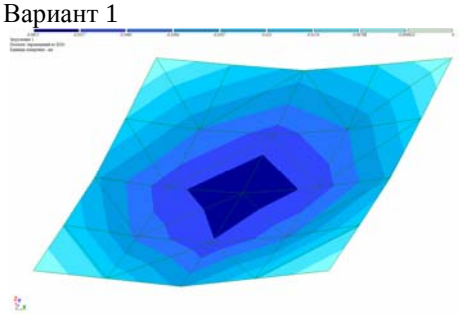


Рис. 14. Изополя перемещений. Вариант 3

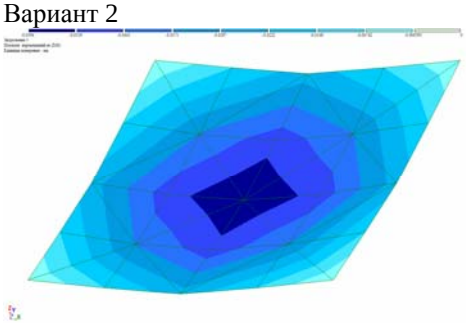


Рис. 15. Изополя перемещений. Вариант 4

Таблица 1

Значения прогибов

№ узла	Прогибы для вариантов (мм)						
	1	2	Разница в %	3	Разница в %	4	Разница в %
1	0	0	—	0	—	0	—
2	–0,015	–0,015	4,171	–0,015	4,171	–0,015	4,389
3	–0,029	–0,029	0,514	–0,029	0,501	–0,027	8,814
4	–0,016	–0,015	5,168	–0,015	5,168	–0,015	5,388
5	0	0	—	0	—	0	—
6	–0,015	–0,015	4,178	–0,015	4,178	–0,015	4,389
7	–0,039	–0,038	2,879	–0,038	2,879	–0,038	3,914
8	–0,051	–0,050	2,746	–0,050	2,746	–0,049	4,389
9	–0,040	–0,038	5,264	–0,038	5,264	–0,038	6,324
10	–0,016	–0,015	5,175	–0,015	5,175	–0,015	5,388
11	–0,029	–0,026	10,057	–0,026	10,057	–0,027	8,814
12	–0,051	–0,049	4,742	–0,049	4,742	–0,049	4,389
13	–0,061	–0,059	3,903	–0,059	3,903	–0,059	3,110
14	–0,051	–0,049	4,742	–0,049	4,742	–0,049	4,389
15	–0,029	–0,026	10,057	–0,026	10,057	–0,027	8,814
16	–0,016	–0,015	5,175	–0,015	5,175	–0,015	5,388
17	–0,040	–0,038	5,264	–0,038	5,264	–0,038	6,324
18	–0,051	–0,050	2,746	–0,050	2,746	–0,049	4,389
19	–0,039	–0,038	2,879	–0,038	2,879	–0,038	3,914
20	–0,015	–0,015	4,178	–0,015	4,178	–0,015	4,389
21	0	0	—	0	—	0	—
22	–0,016	–0,015	5,168	–0,015	5,168	–0,015	5,388
23	–0,029	–0,029	0,501	–0,029	0,501	–0,027	8,814
24	–0,015	–0,015	4,171	–0,015	4,171	–0,015	4,389
25	0	0	—	0	—	0	—

Можно порекомендовать использовать 1-й и 4-й варианты. Если фигура симметрична относительно каких-то осей, то сетка узлов тоже должна соблюдать эту закономерность. Если погрешность в 10 % не является большой, то можно использовать любую сетку. При сравнении значения прогибов в узлах 3, 11, 15, 23, они должны быть равны, так как пластина и нагрузка симметричны. В вариантах 1 и 4 это условие выполняется, а в вариантах 2 и 3 — нет. Изополя перемещений на рис. 12—15 имеют отличия, но они незначительны.

Если же будем рассматривать сетчатую пластину с расположением стальных стержней, показанных на рис. 8—1, и с покрытием из полимерного материала, то перемещения такой пластины будут существенно отличаться в зависимости от ее структуры.

И конечно, нельзя не отметить такую природную конструкцию, как соты (рис. 16). Эта форма объекта встречается не только в пчелиных ульях, но и в других, например, поперечное сечение стебля пшеницы — это природная сотовая конструкция. А как известно, стебель пшеницы очень прочный. Сотовые конструкции встречаются не только в строительстве, но и в машиностроении, самолетостроении и вертолетостроении (рис. 17).

Рис. 16. Соты

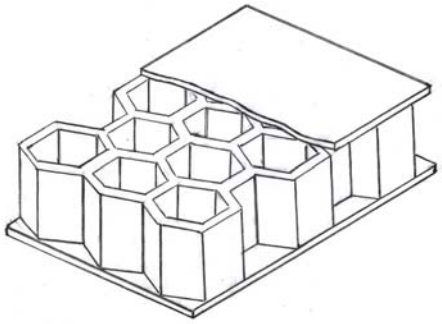


Рис. 17. Трехслойная пластина с сотовым промежуточным слоем

Очень часто в природе встречаются стебли с поперечными сечениями в виде криволинейных многоугольников, которые описываются функцией

$$\rho = r(1+\lambda\left|\sin\left(\frac{n}{2}\alpha\right)\right|, \tag{1}$$

где $\lambda = \frac{\rho_{\min}}{r} - 1$; $\rho_{\min}$ — значение для середины криволинейной стороны; r — радиус базовой окружности; n — количество сторон многоугольника.

Для поперечного сечения при n = 8 получены следующие геометрические характеристики поперечных сечений:

площадь — $$S = \frac{r^2}{2}\left(\pi\left(2+\lambda^2\right)+8\lambda\right); \tag{2}$$

полярный момент инерции — $$I_{\text{p}} = r^4\left(\frac{\pi}{2}+4\lambda+\frac{3\pi}{2}\lambda^2+\frac{8}{3}\lambda^3\right); \tag{3}$$

осевые моменты инерции (при n = 8) :

$$I_x = 2r^4\left(\frac{\pi}{8}+4\lambda I_1+6\lambda^2 I_2+4\lambda^3 I_3+\lambda^4 I_4\right); \tag{4}$$

$$I_y = 2r^4\left(\frac{\pi}{8}+4\lambda I_5+6\lambda^2 I_6+4\lambda^3 I_7+\lambda^4 I_8\right), \tag{5}$$

где интегралы I_i равны

$$I_1 = \int_0^{\pi/4}\sin(4\alpha)\sin^2\alpha d\alpha = \frac{1}{12};\quad I_2 = \int_0^{\pi/4}\sin^2(4\alpha)\sin^2\alpha d\alpha = -\frac{2}{15}+\frac{\pi}{16}; \tag{6}$$

$$I_3 = \int_0^{\pi/4}\sin^3(4\alpha)\sin^2\alpha d\alpha = \frac{11}{210};\quad I_4 = \int_0^{\pi/4}\sin^4(4\alpha)\sin^2\alpha d\alpha = -\frac{32}{315}+\frac{3\pi}{64}; \tag{7}$$

$$I_5 = \int_0^{\pi/4}\sin(4\alpha)\cos^2\alpha d\alpha = \frac{5}{12};\quad I_6 = \int_0^{\pi/4}\sin^2(4\alpha)\cos^2\alpha d\alpha = \frac{2}{15}+\frac{\pi}{16}; \tag{8}$$

$$I_7 = \int_0^{\pi/4} \sin^3(4\alpha)\cos^2\alpha d\alpha = \frac{59}{210};\ \ I_8 = \int_0^{\pi/4} \sin^4(4\alpha)\cos^2\alpha d\alpha = \frac{32}{315} + \frac{3\pi}{64}. \qquad (9)$$

Хотелось бы, чтобы архитекторы использовали закономерности природы осознанно. Ведь структура биологических объектов проверена временем и всегда рациональна для данного вида. Нужно внимательней воспринимать окружающий мир и делать наши строительные конструкции не только прочными, но и интересными по форме. Однако просто переносить геометрическую форму с природного объекта на конструкцию нельзя, надо проводить исследования, а именно этим и занимаются такие науки, как архитектурная бионика и строительная механика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кушнер М.* Будущее архитектуры. 100 самых необычных зданий. М.: АСТ, 2016. 176 с.
2. *Трубе Г.* Путеводитель по архитектурным формам. М.: Архитектура-С, 2014. 216 с.
3. *Villesenor D.* Architecture and nature. New York: Rizzoli, 2015. 334 p.
4. *Шубенков М. В.* Структурные закономерности архитектурного формообразования. М.: Архитектура-С, 2006. 320 с.
5. *Лебедев Ю. С., Рабинович В. И., Положай Е. Д.* Архитектурная бионика. М.: Стройиздат, 1990. 269 с.
6. *Лебедев Ю. С.* Архитектура и бионика. М.: Стройиздат, 1977. 224 с.
7. *Жерарден Л.* Бионика. М.: Мир, 1971. 232 с.
8. *Леденева Г. Л.* Теория архитектурной композиции: курс лекций. Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. техуниверситета, 2008. 80 с.
9. *Кудряшев К. В.* Архитектурная графика. М.: Архитектура-С, 2006. 312 с.
10. *Маяцкая И. А., Краснобаев И. А.* Оптимизация композитных конструкций на основе анализа строения растительных объектов // Научное обозрение. 2013. № 2. С. 176—178.
11. *Mount C., Deitch J.* A new sculpturalism: contemporary architecture from Los Angeles. New York: Skira Rizzoli Publications, 2013. 272 p.
12. *Раздорский В. Ф.* Архитектоника растений. М.: Советская наука, 1955. 432 с.
13. *Эндрюс Дж., Мак-Лоун Р.* Математическое моделирование. М.: Мир, 1979. 282 с.
14. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
15. *Маяцкая И. А., Демченко Б. М.* Аналитическая интерпретация моделей растительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитеткура. 2013. Вып. 30(49). С. 346—351.
16. Применение метода конечных элементов для расчета составной конструкции из пластин и оболочек / И. А. Краснобаев, И. А. Маяцкая, Г. А. Икуру, П. А. Швецов // Научное обозрение. 2014. № 9-3. С. 867—869.
17. *Гнедич П. П.* Мировая архитектура. М.: Эксмо-Пресс, 2012. 240 с.
18. *Хенсберген Г. В.* Гауди — тореадор искусства. М.: Эксмо-Пресс, 2002. 358 с.
19. Material innovation: architecture. London: Thames & Hudson Ltd, 2014. 224 p.
20. *Рябушин А. В.* Заха Хадид. Вглядываясь в бездну. М.: Архитектура-С, 2007. 336 с.
21. *Hadid Z., Betsky A.* Zaha Hadid: The complete buildings and projects. London: Thames & Hudson Ltd, 1998. 176 p.
22. *Hadid Z.* Zaha Hadid. New York: Skira Rizzoli Publications, 2013. 106 p.

© *Маяцкая И. А., 2016*

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Маяцкая И. А. О возможности совершенствования строительных конструкций с учетом бионических принципов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 27—36.

Об авторе:

Маяцкая Ирина Александровна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры сопротивления материалов, Ростовский государственный строительный университет. Российская Федерация, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, irina.mayatskaya@mail.ru

I. A. Mayatskaya

ABOUT THE POSSIBILITY OF IMPROVEMENT OF BUILDING CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT BIONIC PRINCIPLES

The issue of improvement of building constructions on the basis of regularities of the structure of natural objects is considered in the article. The development of architectural bionics gives the opportunity to apply in the constructions the principles of organization, property, function and structure of wildlife. In the present research the author pays great attention to floral and biological objects. The article provides principles on the basis of which the improvement of building constructions is possible taking into account the regularities of a structure.

K e y w o r d s: model, object, design, form, construction.

REFERENSES

1. Kushner M. *Budushchee arkhitektury. 100 samykh neobychnykh zdanii* [The future of architecture. 100 most unusual buildings]. Moscow, AST Publ., 2016. 176 p.

2. Trube G. *Putevoditel' po arkhitekturnym formam* [Guide to architectural forms]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2014. 216 p.

3. Villesenor D. *Architecture and nature.* New York, Rizzoli, 2015. 334 p.

4. Shubenkov M. V. *Strukturnye zakonomernosti arkhitekturnogo formoobrazovaniya* [Structural regularities of architectural from making]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2006. 320 p.

5. Lebedev Yu. S., Rabinovich V. I., Polozhai E. D. *Arkhitekturnaya bionika* [Architectural bionic]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1990. 269 p.

6. Lebedev Yu. S. *Arkhitektura i bionika* [Architecture and bionic]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1977. 224 p.

7. Zherarden L. *Bionika* [Bionic]. Moscow, Mir Publ., 1971. 232 p.

8. Ledeneva G. L. *Teoriya arkhitekturnoi kompozitsii: kurs lektsii* [Theory of architectural composition: course of lectures]. Tambov, Publishing House of Tambov State Technical University, 2008. 80 p.

9. Kudryashev K. V. *Arkhitekturnaya grafika* [Architectural graphics]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2006. 312 p.

10. Mayatskaya I. A., Krasnobaev I. A. [Optimization of composite constructions on the basis of the analysis of the structure of vegetative objects]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2013, no. 2, pp. 176—178.

11. Mount C., Deitch J. *A new sculpturalism: contemporary architecture from Los Angeles.* New York, Skira Rizzoli Publications, 2013. 272 p.

12. Razdorskii V. F. *Arkhitektonika rastenii* [Plant architectonics]. Moscow, Sovetskaya Nauka Publ., 1955. 432 p.

13. Andrews J., Mak-Loun R. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical modeling]. Moscow, Mir Publ., 1979. 282 p.

14. Mandelbrot B. *Fraktal'naya geometriya prirody* [Fractal geometry of the nature]. Moscow, Institute of Computer Researches, 2002. 656 p.

15. Mayatskaya I. A., Demchenko B. M. [Analytical interpretation of plant materials models]. *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], 2013, iss. 30(49), pp. 346—351.

16. Krasnobaev I. A., Mayatskaya I. A., Ikuru G. A., Shvetsov P. A. [Application of the finite element method for the design of a composite structure consisting of plates and shells]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2014, no. 9-3, pp. 867—869.

17. Gnedich P. P. *Mirovaya arkhitektura* [Global architecture]. Moscow, Eksmo-Press, 2012. 240 p.

18. Hensbergen G. V. *Gaudi — toreador iskusstva* [Gaudi — toreador of art]. Moscow, Eksmo-Press Publ., 2002. 358 p.

19. *Material innovation: architecture.* London, Thames & Hudson Ltd, 2014. 224 p.

20. Ryabushin A. V. *Zakha Khadid. Vglyadyvayas' v bezdnu* [Zaha Hadid. Looking into a deep]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2007. 336 p.

21. Hadid Z., Betsky A. *Zaha Hadid: The complete buildings and projects.* London, Thames & Hudson Ltd, 1998. 176 p.

22. Hadid Z. *Zaha Hadid.* New York, Skira Rizzoli Publications, 2013. 106 p.

For citation:

Mayatskaya I. A. [About the possibility of improvement of building constructions taking into account bionic principles]. *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], 2016, iss. 45(64) pp. 27—36.

About author:

Mayatskaya Irina Aleksandrovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Strength of Materials Department, Rostov State University of Civil Engineering. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, irina.mayatskaya@mail.ru

УДК 665.775

Н. А. Белова[а], П. С. Цамаева[б], Н. А. Страхова[в]

[а] Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
[б] Грозненский государственный технический нефтяной университет имени академика М. Д. Миллионщикова
[в] Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМОВ В РОССИИ

Рассмотрено состояние и развитие битумного производства в России, а также влияние ряда специфических факторов на качество нефтяных битумов для дорожного строительства.

Лидирующие позиции на рынке битумов в 2014 г. занимают компании «Газпром нефть», «Роснефть» и «Лукойл». На них приходится почти 80 % общего объема производства битумов в РФ. Крупнейшие потребители — Москва и Московская область, на втором месте — Санкт-Петербург и Ленинградская область. «Газпромнефть — Битумные материалы» (ООО «Газпромнефть — БМ») — дочернее предприятие «Газпром нефти», специализирующееся на производстве и реализации битумной продукции. Компания производит дорожные, строительные и кровельные битумы, полимерно-битумные вяжущие (ПБВ), полимерно-модифицированные битумы (ПМБ G-Way Styrelf), битумные эмульсии и битумные мастики. Выпуск битумов премиум-класса осуществляется на Омском НПЗ, на Рязанском заводе битумных материалов — самом крупном активе в России по производству ПБВ.

Для повышения эксплуатационной надежности асфальтобетонных покрытий необходимо проведение глубоких исследований битумных материалов как на национальном уровне, так и в рамках международного сотрудничества, и постепенный переход и внедрение инновационной системы «Суперпейв», для чего в России потребуется определенное время, необходимое для ее адаптации к отечественному производству битумов дорожных марок, подбора рецептур битумных материалов и асфальтобетона применительно к климатическим условиям разных регионов и др.

К л ю ч е в ы е с л о в а: битумы, битумы премиум-класса, инфраструктурные мегапроекты, полимерно-битумные вяжущие, автодорожные сети, битумные эмульсии, битумные мастики, вяжущие материалы в асфальтобетонном покрытии.

Сегодня важнейшими задачами в экономике России являются повышение эффективности инвестиций во всех сферах хозяйственной и научной деятельности, а также резкое улучшение качества продукции. В то же время технический прогресс невозможно представить без развития автомобильного транспорта и строительства современных скоростных автомобильных магистралей. В связи с этим нефтяной битум как связующий компонент для приготовления асфальтобетонных смесей является одним из востребованных продуктов нефтехимии.

Нефтяные битумы обладают комплексом ценных технических свойств и широко используются в строительной индустрии для изготовления современных кровельных, гидроизоляционных материалов, в лакокрасочной и кабельной промышленности и в особенности в дорожном строительстве.

В настоящее время нефтяные битумы производятся более чем в 70 странах мира при суммарной мощности порядка 120 млн т/г. По данным [1] основные мощности по производству битумов расположены в США, которые занимают первое место по объемам производства нефтяного битума, а также в странах Средней, Южной и Восточной Азии. К 2008 г. Китай стал вторым в

мире рынком потребления битумной продукции после США, его рынок к концу 2014 г. достиг 24,66 млн т/г.

На долю России и стран СНГ приходится около 11,9 % общемирового объема производства битумов, из них доля России составляет 9,1 % [2]. Классификация битума во всех государствах — членах Таможенного союза — осуществляется по значению пенетрации при 25 ºС. Введено 6 марок битума: БНД 130/200, БНД 100/130, БНД 70/100, БНД 50/70, БНД 35/50, БНД 20/35 [2].

На 21 нефтеперерабатывающем заводе России (из 26 работающих) производят около 3,6 млн т битумов в год. Еще около 0,3 млн т в год дорожных битумов производят локальные — отдельно стоящие и входящие в состав дорожных ремонтно-строительных управлений (ДРСУ) и асфальтобетонных заводов (АБЗ) более мелкие установки других министерств и ведомств России [3].

Лидирующие позиции на рынке битумов в 2014 г. занимали компании «Газпром нефть», «Роснефть» и «Лукойл». На них приходилось почти 80 % общего объема производства битумов в РФ. Крупнейшие потребители — Москва и Московская область, на втором месте Санкт-Петербург и Ленинградская область. Остальные регионы существенно отстают от них из-за хронического недофинансирования дорожного хозяйства [4].

По итогам 2014 г. в России объем производства битумов сократился на 6,4 % и составил 5746,7 тыс. т. Внутренний рынок битумов активно рос в период 2009—2012 гг., что обусловлено увеличением объемов дорожного строительства за счет инфраструктурных мегапроектов в Сочи и на Дальнем Востоке. Сейчас рост рынка прекратился, и дальнейшая динамика будет во многом зависеть от реализации Федеральной программы «Модернизация транспортной системы России» [4].

«Газпромнефть — Битумные материалы» (ООО «Газпромнефть — БМ») — дочернее предприятие «Газпром нефти», специализирующееся на производстве и реализации битумной продукции [5]. Компания создана в октябре 2014 г. и заняла лидирующие позиции на битумном рынке России, объем продаж битумных материалов составил 1,8 млн т. Компания производит дорожные, строительные и кровельные битумы, полимерно-битумные вяжущие (ПБВ), полимерно-модифицированные битумы (ПМБ G-Way Styrelf), битумные эмульсии и битумные мастики. Выпуск битумов премиум-класса осуществляется на Омском НПЗ, на Рязанском заводе битумных материалов — самом крупном активе в России по производству ПБВ.

В 2014 г. на Московском НПЗ запущена установка по производству ПМБ нового поколения под брендом G-Way Styrelf. Установка построена совместным предприятием «Газпром нефти» и французского концерна Total и рассчитана на выпуск 60 тыс. т ПМБ и 7 тыс. т битумных эмульсий в год. Производство осуществляется в соответствии с технологией Styrelf, разработанной концерном Total и адаптированной к российским климатическим условиям. В битумное сырье добавляется специальный связующий реагент (PAXL), который способствует образованию дополнительных химических связей на молекулярном уровне. По мнению разработчиков, срок эксплуатации таких дорог увеличивается более чем в 2 раза по сравнению с покрытиями на основе традиционных дорожных битумов [6].

Компания «Газпром нефть» осуществляет поставки битумных материалов в регионы России, страны ближнего и дальнего зарубежья различными видами транспорта. В 2015 г. она поставила ПБВ для реализации таких крупных российских дорожных проектов, как строительство федеральных трасс М10 «Россия», М2 «Крым», М4 «Дон», М8 «Холмогоры», М18 «Кола», а также кольцевых автомобильных дорог в Москве и Санкт-Петербурге.

В Италии первым клиентом «Газпромнефти — БМ» стал один из крупнейших европейских производителей кровельных и гидроизоляционных материалов — компания Technonicol Italia. Российский модифицированный битум, производящийся для итальянцев по специальной рецептуре, будет применяться в производстве битумно-полимерных рулонных материалов для промышленного и малоэтажного строительства. В рамках отработки перспективных европейских направлений первые пробные партии полимерно-битумных вяжущих были также отправлены в Чехию, Италию, Литву, Эстонию, Турцию и др. [1] .

В 2013 г. экспортные поставки российских битумов достигли 1 5% от общего объема продукции, превысив показатели предыдущих трех лет. Но уже в 2014 г. наблюдалось резкое падение объемов поставок, что связано с сокращением экспорта в Казахстан, который с января 2014 г. запретил ввоз российских битумов, из списка основных импортеров также исчезла Украина. Соответственно, российским производителям следует рассчитывать в основном на увеличение внутреннего спроса.

Самыми крупными по потреблению дорожных битумов являются федеральные округа (ФО): Уральский (22,1 %), Южный (18 %), Центральный (17 %) и Приволжский (16 %). Самая высокая протяженность автодорожных сетей в Центральном и Приволжском ФО —25 и 22 % соответственно от общей протяженности дорог в РФ. Также спрос на битум зависит от ежегодного темпа ввода жилья [4].

Качество битумов регламентируется государственными стандартами, которые периодически пересматриваются. К сожалению, в настоящее время нет общепринятого мнения об оптимальном уровне показателей технических свойств битумов и о рациональной технологии их производства.

Ассортимент выпускаемых битумов:

битумы строительные по ГОСТ 6617—76;

дорожные вязкие по ГОСТ 22245—90;

кровельные по ГОСТ 9548—74;

изоляционные по ГОСТ 9812—74;

специальные для лакокрасочных продуктов по ГОСТ 21822—76.

Классификация нефтяных битумов по назначению:

вязкие дорожные битумы;

строительные битумы;

кровельные битумы;

битумы нефтяные изоляционные;

битумы специальные для лакокрасочных продуктов.

Структура потребления битумных материалов в 2014 г. показана на примере их потребления в ЦФО, тыс. т (%): битумы дорожные — 1369 (74); битумы кровельные — 211 (11); битумы строительные — 150 (8); битумные эмульсии — 79 (4); полимерно-вяжущие материалы — 54 (3) [4].

Можно отметить, что в России на протяжении нескольких лет доля битумов, предназначенных для дорожного строительства, стабильно увеличивается.

Российский рынок изоляционных материалов представлен в виде рулонной гидроизоляции на основе битума — она составляет 85—90 % всего рынка. На рынке представлены основные марки проникающей гидроизоляции «Пенетрон» (США), «Ксайпекс» (Канада) и отечественные «Гидротекс», «Стромикс», «Кальматрон».

Одной из проблем российского рынка дорожных битумов остается несовершенство нормативно-правовой базы. Разработкой нормативно-технических документов по использованию битумов в дорожном хозяйстве занимается Федеральное дорожное агентство.

Практика дорожного строительства в России и состояние дорог даже федерального значения подтверждают несовершенство существующих требований к дорожным битумам, сформулированных в ГОСТ 22245—90. Низкие эксплуатационные характеристики материалов, используемых в дорожном строительстве, приводят к тому, что уже на 3—4 год требуется проведение ремонта дорог, тогда как за рубежом межремонтный период составляет 10—12 лет.

На состояние и развитие битумного производства в России оказывает существенное влияние ряд специфических факторов, это [6, 2]:

сезонность выработки битумов основных дорожных марок, связанная с четко определенными периодами выполнения дорожно-строительных работ и порождающая проблемы для непрерывно функционирующих нефтеперерабатывающих предприятий;

существующая система ценообразования, при которой цена продукта (битума) составляет 60—70 % от цены сырья (нефти), и сложность проведения технологических операций с таким высоковязким продуктом, как битум. В результате оказывается недействующей система стимулирования для совершенствования и обновления битумного производства;

неконтролируемый разброс показателей качества поступающего на переработку сырья (нефтей);

возросший уровень требований потребителя к качеству дорожных битумов, что связано с непрерывным увеличением грузоподъемности и интенсивности движения транспортных средств, приводящих к значительному росту динамических нагрузок на дорожное покрытие, и др.

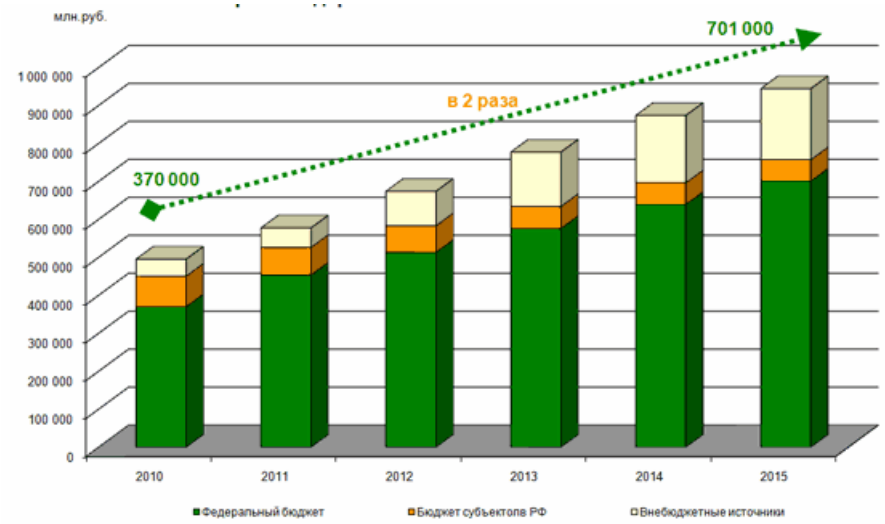
За последние годы существенно изменился химический состав западносибирской нефти, поступаемой на переработку в НПЗ. Произошло утяжеление нефти и возросло содержание твердых парафинов, что значительно ухудшило качество сырья для получения дорожного битума [2]. Нестабильность качества гудрона в процессе непрерывного производства не позволяет получать битум с заданными узкими значениями пенетрации. По мнению специалистов [2], природа остатков западносибирской нефти такова, что из них невозможно только окислением получать качественный дорожный битум, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 33133. Для оптимизации битумного производства необходима подготовка сырья методом компаундирования, а также компаундирование товарных партий дорожного битума.

Кроме того, в связи с огромной территорией России и неравномерным размещением на ней нефтеперерабатывающих предприятий в современных

условиях транспортные расходы составляют значительную долю в стоимости битумов, и без того являющихся наиболее дорогой составляющей в цене готового асфальтобетонного покрытия [3].

Срок службы автомобильных дорог с использованием традиционных окисленных битумов около 5 лет. На восстановление дорог Россия ежегодно тратит более 400 млрд руб. (по данным на 2010 г.). Ежегодные экономические потери от плохого состояния дорожной инфраструктуры составляют более чем 3 % ВВП.

На рисунке показана динамика финансирования дорожного хозяйства в Российской Федерации в 2010—2015 годах.



Финансирование дорожного хозяйства РФ в 2010—2015 гг.

В последние годы для повышения качества автомобильных дорог и увеличения объемов их строительства рассматриваются различные механизмы создания государственно-частного партнерства и введения платных дорог.

В настоящее время реализуется Программа гармонизации международных и российских стандартов в области дорожных битумов для реализации Плана мероприятий по обеспечению высокого качества в дорожном хозяйстве и приведения нормативно-методической базы в соответствие с основными международными нормами [7, 8]. Так, нормативные документы ПНСТ 1-2012 «Дороги автомобильные общего назначения. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия» и СТО АВТОДОР 2.1-2011 «Битумы нефтяные дорожные улучшенные» ориентированы на повышение уровня требований к битумам и применение методов испытаний, реализованных в передовой мировой практике, в странах ЕС и США. В этих документах большое внимание уделяется показателям качества, имитирующим реальные условия работы вяжущего материала в асфальтобетонном покрытии, в частности изменения свойств битумов в процессе термоокислительного старения.

В дорожном хозяйстве РФ в области внедрения высокоэффективных материалов и конструкций в дорожном хозяйстве Российской Федерации основное внимание направлено на [2]:

создание комплекса стандартов на битумы нефтяные дорожные вязкие;

полимер-битумные вяжущие;

геосинтетические и композитные материалы;

внедрение методологии «Superpave».

В США разработана и реализована комплексная система проектирования составов асфальтобетонных смесей «Суперпейв» («Superpave» — стратегическая система исследования автодорог), суть которой заключается в новой классификации вяжущих, принципиально иных методах испытаний вяжущих и асфальтобетонных смесей, а также проектировании их составов для обеспечения эксплуатационной надежности дорожных покрытий, устраиваемых на конкретных объектах в известных климатических условиях [9].

В систему «Superpave» вошли 3 взаимосвязанных компонента, последовательно обновив нормативную базу AASHTO и ASTM:

SHARP — технические условия и методы испытаний битума;

Superpave — технические условия и метод проектирования составов асфальтобетонных смесей с определением поровых характеристик уплотненных образцов асфальтобетона;

методы испытаний и система анализа реологических свойств асфальтобетона с использованием математических моделей работоспособности и компьютерного программного обеспечения.

Система «Суперпэйв» признана на международном уровне, однако внедрена далеко не везде. В большинстве стран Европы и Китае широко используется оборудование и методы тестирования дорожных материалов, подобные «Суперпейву», но полностью система не внедрена.

Для перехода и внедрения инновационной системы «Суперпейв» в России потребуется определенное время, необходимое для ее адаптации к отечественному производству битумов дорожных марок, рецептурам битумных материалов и асфальтобетона, климатическим условиям разных регионов и пр.

Таким образом, для повышения эксплуатационной надежности асфальтобетонных покрытий необходимо проводить глубокие исследования битумных материалов как на национальном уровне, так и в рамках международного сотрудничества.

Вывод. В перспективе битумное производство на отечественных НПЗ будет базироваться на достижениях мировых технологий в области проектирования комплекса эксплуатационных свойств битумов, а также поэтапного внедрения инновационной системы «Суперпейв».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отдел мониторинга компании «Транс Сервис». URL: http://mazutbitum.ru/dinamika 2007-2009.html

2. ООО «Газпронефть — битумные материалы». URL: http://bitum.gazpromneft.ru/business/conference/

3. Производство битумов в России: проблемы и задачи. URL: http://dorservis52.ru/page_id=129

4. Исследование рынка битумов в России в 2009—2011 гг. URL: http://www.newchemistry.ru/rep.php.id=1841&folder=4

5. Газпромнефть-Тоталь ПИМБ. URL: http://www.bitum.gazpromneft.ru/business/production/GPNTotal/

6. *Марков С. В.* Экономическая эффективность производства и использования битумных материалов: дис… канд. экон. наук. М., 2010. 121 с.

7. Перспективы развития рынка: III-я межотраслевая конференция «Битум и ПБВ2014». URL: http://www.mipr.ru

8. Программа гармонизации международных и российских стандартов в области дорожных битумов на 2007 год: утв. распоряжением Росавтодора от 03.08.2006, № 369-р.

9. *Кирюхин Г. Н., Джуманов Р. Б.* Плюсы и минусы системы проектирования асфальтобетона «Суперпэйв» // Ежегодная XXVI научная сессия Ассоциации Исследователей асфальтобетона. 2014.

© Белова Н. А., Цамаева П. С., Страхова Н. А., 2016

Поступила в редакцию
в августе 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Белова Н. А., Цамаева П. С., Страхова Н. А. Перспективы развития производства битумов в России // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 37—44.

Об авторах:

Белова Наталья Александровна — аспирант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, astra_belova@mail.ru

Цамаева Петимат Саидовна — канд. техн. наук, доцент, Грозненский государственный технический нефтяной университет им. академика М. Д. Миллионщикова. Российская Федерация, 364051, г. Грозный, пр-т им. Х. А. Исаева, 100, ayub_777@mail.ru

Страхова Нина Андреевна — д-р техн. наук, профессор, Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Российская Федерация, 353918, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93, copstrakhova_na@mail.ru

N. A. Belova, P. S. Tsamaeva, N. A. Strakhova

PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF BITUMEN PRODUCTION IN RUSSIA

The article considers the state and development of bitumen production in Russia, as well as the influence of some specific factors on the quality of petroleum bitumen for road construction.

In 2014 “Gazprom Neft”, “Rosneft” and “Lukoil” companies were the leaders in the market of bitumen. Their share was almost 80% of the total volume of bitumen production in the Russian Federation. The largest consumers were Moscow and Moscow Oblast, Saint Petersburg and Leningrad Oblast were ranked the second. “Gazpromneft — Bitumen materials” (CJSC “Gazpromneft — BM”) is a subsidiary enterprise of “Gazprom Neft” that specializes in the production and sales of bitumen products. The company produces road, building and roofing bitumen, polymer bituminous binders (PBB), polymer modified bitumen (PMB G-Way Styrelf), bitumen emulsions and bitumen mastic. Premium class bitumen is produced by Omsk oil refinery, at Ryazan plant of bitumen materials that is the largest producer of polymer bituminous binders in Russia.

To increase operational reliability of asphalt concrete covering the profound research of bitumen materials is necessary both on the national level, and within the international cooperation, and gradual transition and introduction of “Superpeyv” innovative system. In Russia, it will take some time for its adaptation to domestic production of bitumen of road marks, choice of the composition of bitumen material and asphalt concrete taking into account the climate in different regions and others.

K e y w o r d s: bitumen, premium-class bitumen, infrastructural mega-projects, polymer bituminous binder, roadnet, bitumen emulsions, bitumen mastic, binding materials in asphalt concrete covering.

REFERENSES

1. *Otdel monitoringa kompanii «Trans Servis»* [Monitoring Department of “Trans Servis” company]. URL: http://mazutbitum.ru/dinamika 2007-2009.html

2. *OOO «Gazproneft' — bitumnye materialy»* [“Gazpromneft — Bitumen Materials” Ltd.]. URL: http://bitum.gazprom-neft.ru/business/conference/

3. *Proizvodstvo bitumov v Rossii: problemy i zadachi* [Bitumen production in Russia: problems and tasks]. URL: http://dorservis52.ru/page_id=129

4. *Issledovanie rynka bitumov v Rossii v 2009—2011 gg.* [Research of bitumen market in Russia in 2009—2011]. URL: http://www.newchemistry.ru/rep.php.id=1841&folder=4

5. *Gazpromneft'-Total' PMB* [Gazpromneft-Total PMB]. URL: http://www.bitum.gazprom-neft.ru/business/production/GPNTotal/

6. Markov S. V. *Ekonomicheskaya effektivnost' proizvodstva i ispol'zovaniya bitumnykh materialov: dis.… kand. ekon. nauk* [Economic efficiency of production and use of bituminous materials. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Moscow, 2010. 121 p.

7. *Perspektivy razvitiya rynka: III-ya mezhotraslevaya konferentsiya «Bitum i PBV2014»* [Prospects of market development: III cross-sectoral conference “Bitumen and PBV2014”]. URL: http://www.mipr.ru

8. *Programma garmonizatsii mezhdunarodnykh i rossiiskikh standartov v oblasti dorozhnykh bitumov na 2007 god: utv. rasporyazheniem Rosavtodora ot 03.08.2006, № 369-r* [The programme of harmonization of the international and Russian standards in the sphere of paving bitumen for 2007: confirmed by the order of Rosavtodor dated 03 August, 2006, no. 369-r].

9. Kiryukhin G. N., Dzhumanov R. B. [Advantages and disadvantages of design of “Superpave” asphalt concrete]. *Ezhegodnaya XXVI nauchnaya sessiya Assotsiatsii Issledovatelei asfal'tobetona. 2014* [Annual XXVI scientific session of the Association of Researchers of asphalt concrete, 2014].

For citation:

Belova N. A., Tsamaeva P. S., Strakhova N. A. [Prospects of the development of bitumen production in Russia]. *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], 2016, iss. 45(64) pp. 37—44.

About authors:

Belova Natal'ya Aleksandrovna — Postgraduate student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 18, Tatisheva st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, astra_belova@mail.ru

Tsamaeva Petimat Saidovna — Candidate of Engineering Science, Docent, Grozny State Oil Technical University named after M. D. Millionshchikov. 100, Kh. A. Isaeva Prospect, Grozny, 364051, Russian Federation, ayub_777@mail.ru

Strakhova Nina Andreevna — Doctor of Engineering Science, Professor, Admiral Ushakov State Maritime University. 93, Lenin’s Avenue, Novorossisk, 353918, Russian Federation, copstrakhova_na@mail.ru

УДК 691:[658.567.1:669.18]

Е. В. Корнеева, В. А. Корнеев

Сибирский государственный индустриальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время в производстве строительных материалов наблюдается переход на инновационные энергосберегающие безотходные технологии, с использованием крупнотоннажных отходов промышленных предприятий.

Вторичные минеральные ресурсы, являясь ценным сырьем в промышленности строительных материалов, успешно конкурируют с природными.

Использование шлаков электросталеплавильного производства, накопившихся на металлургических предприятиях Кузбасса, позволит создать в регионе местную промышленную сырьевую базу для строительной индустрии, решая важную народно-хозяйственную задачу.

К л ю ч е в ы е с л о в а: крупнотоннажные сырьевые отходы, электросталеплавильные шлаки, технология переработки, активация, бесклинкерные вяжущие.

Основная масса электросталеплавильных шлаков, образованных при плавке стали в электропечах металлургических комбинатов России (Череповецкий («Северсталь»), Косогорский (Тульский), Новолипецкий, «Амурсталь», Верх-Исетский (Екатеринбург), Оскольский), являются вторичными ресурсами и в силу специфических особенностей складируется в отвалах с самого возникновения предприятий. Так, на территории одного металлургического комбината в отвалах может скапливаться около 4 млн тонн электросталеплавильных шлаков при ежегодном увеличении их количества на 400 тыс. т.

Разнообразие химического и минерального состава, неустойчивость структуры, высокое содержание железа и металлических включений (корольки и скрап) затрудняло их переработку для дальнейшего использования.

Электросталеплавильные шлаки представляют собой многокомпонентную систему с высокоразвитой поверхностью. Несмотря на химический состав, близкий к составу портландцемента, шлаки не обладают вяжущими свойствами, так как имеющиеся в их составе фазы C_2S находятся в закристаллизованном состоянии и при взаимодействии с водой не гидратируются.

Переработка электросталеплавильных шлаков сдерживается из-за отсутствия специального надежного оборудования и эффективных процессов дробления, сортировки, измельчения, раскрытия и извлечения металла.

Вместе с тем электросталеплавильный шлак характеризуется уникальной совокупностью технических преимуществ и выгод, а также благоприятными экономическими показателями, которые обеспечивают ему высокую конкурентоспособность при принятии решений о его вторичном использовании.

Техническая необходимость разработки альтернативных вариантов его применения обусловлена следующими причинами:

нестабильностью химического состава;

неспособностью шлака к самостоятельному твердению и набору прочности;

склонностью к силикатному распаду.

По этим же причинам электросталеплавильные шлаки являются наименее востребованными в промышленности строительных материалов.

В настоящее время в результате внедряемых технологий переработки электросталеплавильные шлаки могут стать неиссякаемым источником дешевого сырья для строительной индустрии.

Установлено, что как шлаки текущего выхода, так и хранившиеся долго время в отвалах, эффективно использовать при строительстве дорог.

Добавка тонкомолотого электросталеплавильного шлака, придает асфальтобетону повышенную механическую прочность, способность к упругим и пластическим деформациям, позволяет повысить сроки службы и обеспечить высокие транспортно-эксплуатационные свойства автомобильных дорог [1].

Однако без дополнительного повышения гидравлической активности получение из электросталеплавильного шлака вяжущего невозможно, поэтому такие шлаки практически не используются для производства бесцементных вяжущих веществ.

Анализ литературы, посвященной опыту использования электросталеплавильного шлака в качестве вяжущего компонента, показал его достаточно ограниченное применение:

технология переработки электросталеплавильного шлака позволила получать продукцию с высокими потребительскими свойствами: автоклавное вяжущее и керамические изделия [2, 3];

вяжущее большой гидравлической активности с добавкой модификатора — конденсированного микрокремнезема [4];

на основе электросталеплавильного шлака ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» получен пенобетон плотностью 500 кг/м^3 с прочностью 1,2 МПа [5];

применение основного электросталеплавильного шлака в количестве 20...25 % в качестве компонента в грубозернистых керамических массах способствует увеличению прочностных, технико-эксплуатационных и эстетико-потребительских свойств керамического кирпича [6];

на основе гранулированного доменного шлака и электросталеплавильного шлака получено вяжущее состава мас.%: доменный гранулированный шлак — 40... 50, отход магнитной сепарации железных руд — 4...5, двуводный гипс — 4...8, электросталеплавильный шлак — остальное [7].

Использование электросталеплавильных шлаков в строительной индустрии в настоящее время успешно осуществляется и в странах ближнего зарубежья (республика Беларусь) [8].

Действительно, как мы видим, современное состояние науки и технологии позволяет получать на основе местного техногенного, активированного, структурно нестабильного электросталеплавильного сырья бесклинкерные вяжущие различных классов по прочности, плотности и водонепроницаемости.

Качество вяжущих материалов на основе электросталеплавильных шлаков зависит от подбора состава, чтобы он в большей степени соответствовал составу портландцемента, и возможного химического воздействия между смешиваемыми компонентами.

Анализ использования электросталеплавильных шлаков в производстве строительных материалов показывает, что решение проблемы снижения

энергозатрат и материалоемкости их производства требует комплексного научного обоснования с целью прогнозирования свойств при проектировании оптимальных составов.

Электросталеплавильные (ковшевые) шлаки одного из металлургических предприятий Кузбасса — Новокузнецкого металлургического комбината — стали объектом изучения в качестве крупнотоннажных сырьевых отходов для строительной индустрии Кузбасса.

На физико-механические свойства и состав шлаков предприятия оказывает влияние минерально-сырьевая база, представленная железорудными месторождениями Алтае-Саянской складчатой области и Ангаро-Илимского железорудного района (руды с магнезиальной пустой породой и повышенным содержанием Al_2O_3), известняками Салаира, доломитами Горной Шории и кварцитами Антоновского рудника. Состав шлака также зависит от золы и серы кокса, содержание которой в коксе кузбасских углей составляет 0,4...0,6 %.

Отбор проб осуществлялся методом квартования.

По химическому составу исследуемые шлаки сходны с мартеновскими и отличаются более высоким содержанием оксидов кальция и низкой концентрацией оксидов железа. Так, по массе содержание CaO равно 55,55 % (в том числе $CaO_{своб.}$); SiO_2 — 26,63; MgO — 0,37; FeO — 0,95; MnO — 0,37; Al_2O_3 — 5,33; S — 1,41; P_2O_5 — 0,03; Cr_2O_3 — 0,05 %.

На основе химического состава установлено:

коэффициент качества (характеристика шлака как компонента вяжущего) K = 2,64;

шлак относятся к 1 сорту ($K \geq 1,65$), ГОСТ 3476—74;

модуль основности: M_0 = 2,04 (шлак относятся к группе основных $M_0 > 1$);

модуль активности: M_a = 0,20 — шлак не активен ($Ma < 2,5$) как компонент вяжущего требует введения активирующих добавок;

коэффициент основности: $K_{осн}$ = 2,56 — шлак ультраосновный ($K_{осн} > 1,6$).

Высокоосновные электросталеплавильные шлаки при естественном охлаждении подвержены силикатному распаду и превращаются в порошок.

В шлаках повышенное содержание CaO (> 40 %). Расчеты на распад (рассыпание) показали, что они не стойки против силикатного распада и их нельзя применять в качестве заполнителя (стойкость против силикатного распада: M_c = 6,11 %, M_c > 5%).

По железистому распаду шлаки отвечают требованиям ГОСТ 9758—86.

стойкость против железистого распада: $M_ж$ = 0,38 %, $M_ж \leq 1$ %).

Для изучения микроструктуры электросталеплавильного шлака использовалось современное, уникальное научно-исследовательское оборудование одной из ведущих научных организаций региона — Центра коллективного пользования Кемеровского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ЦКП КемНЦ СО РАН).

Электронно-микроскопический анализ выполнен методом сканирующей электронной микроскопии.

Дифрактограмма электросталеплавильного шлака Новокузнецкого металлургического комбината представлена на рис. 1, 2.

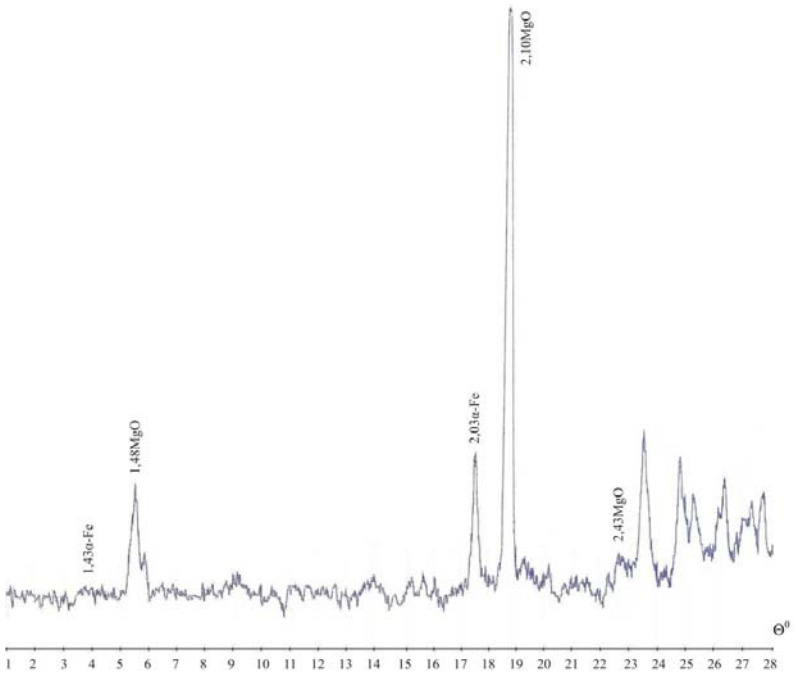


Рис. 1. Дифрактограмма электросталеплавильного шлака Новокузнецкого металлургического комбината (магнитная часть пробы). Межплоскостные расстояния указаны в 10^{-10} м

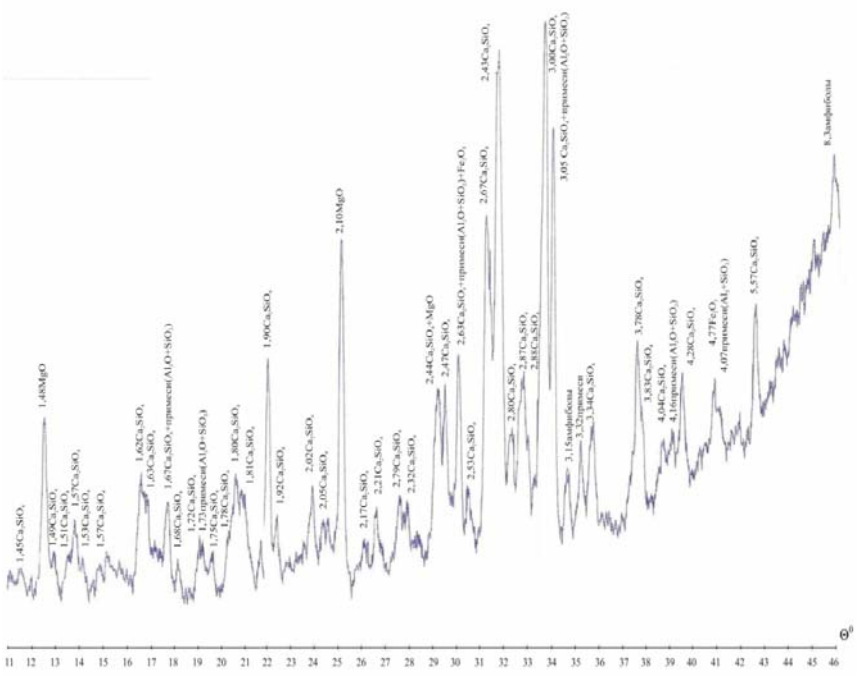


Рис. 2. Дифрактограмма электросталеплавильного шлака Новокузнецкого металлургического комбината (немагнитная часть пробы). Межплоскостные расстояния указаны в 10^{-10} м

Анализ дифрактограммы (рис. 1) показал, что магнитная часть пробы содержит периклаз (MgO) и примесь полиморфной модификации (αFe).

Немагнитная часть пробы (рис. 2) представлена главным образом двухкальциевым силикатом (Ca_2SiO_4), в небольшом количестве присутствует периклаз (MgO). Вероятно присутствие магнетита (Fe_3O_4), амфиболов и примесей алюмосиликатов.

Проведенные электронно-микроскопические исследования показали, что степень закристаллизованности электросталеплавильного шлака достаточно высока (рис. 3).

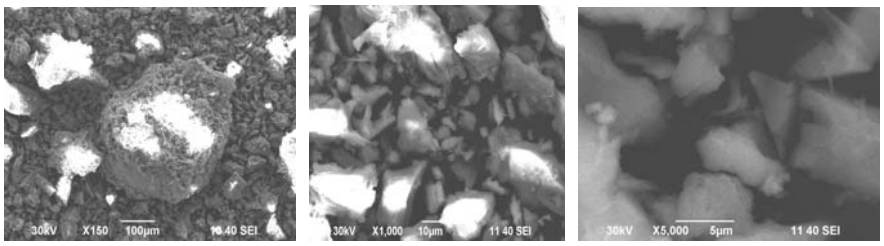


Рис. 3. Структура электросталеплавильного шлака Новокузнецкого металлургического комбината под сканирующим микроскопом

На микрографии видны кристаллы периклаза в виде четырехгранных пирамид и округлых кубических кристаллов незначительных размеров. Непрямолинейность и различная кривизна их границ является признаком собирательной рекристаллизации.

Ортосиликат кальция на микрографии в виде бесцветных очень мелких игловидных кристаллов более правильной кристаллической структуры, не отличающихся упорядоченностью.

Известно, что предварительная активация шлака позволяет в значительной мере регулировать прочность и эксплуатационные свойства материала на его основе. В качестве активаторов твердения шлаковых композиций применяется строительная известь, гипс, растворы щелочей, цемент. Также используются тонкодисперсные наполнители в виде цементной пыли, известняка, суглинков, горелых пород и др.

Для активации используются следующие способы: механический (помол, виброактивация), химический (введение добавок), тепловой (автоклавная обработка, температурно-влажностная обработка, резкое охлаждение).

Гидравлическая активность отвальных шлаков электрометаллургического производства может быть повышена их термической обработкой при температуре 400...500 °С [9]. Однако термические методы используются крайне редко по причине их высокой энергозатратности.

Использование бесклинкерных шлаковых вяжущих, т. е. продуктов тонкого измельчения электросталеплавильных шлаков с добавками-активаторами их твердения (сульфатно-шлаковыми, известково-шлаковыми и шлако-щелочными), является актуальным научным направлением.

В строительной практике широко применяются композиционные (многокомпонентные) бесклинкерные шлаковые вяжущие различного типа твердения на основе техногенных нано- и микроструктурированных сырьевых систем.

С особенностями структуры связаны показатели всех свойств материала. Широкий спектр существующих в настоящее время технологических приемов позволяет целенаправленно формировать структуру используемого сырья для получения композиционных вяжущих, выбрав для оксидных композиций эффективные методы ускорения процессов дегидратации, твердения и фазообразования.

Изменение кристаллической структуры и повышение активности техногенных продуктов часто осуществляется при помощи механических методов активации. При столкновении твердых тел в локальной зоне происходит, разрушение кристаллических решеток, повышение температуры, развитие пластических деформаций и зарождение микротрещин. На характер изменений, происходящих в кристаллической решетке и составе минералов при измельчении, влияет природа химической связи элементов соединения, степень дефектности его кристаллической решетки и вид дефектов.

Процессы структурообразования можно регулировать, изменяя способ и условия измельчения исходного сырья. С помощью механической активации реализуется синтез большого числа соединений [10].

После механической активации металлургических шлаков прочность изделий из них возрастает в 2–3 раза. Увеличивается число коагуляционных контактов разнородных частиц, повышается пластическая прочность твердеющего теста, ускоряется образование гидросиликатов кальция и других продуктов гидратации обработанных смесей [11].

Повышение химической активности системы, ускорение диффузионных процессов приводит к изменению структуры и повышению показателей качества конечного продукта.

Цель изучения комбинированной активации выпускаемого (свежего) шлака электросталеплавильного производства Новокузнецкого металлургического комбината — внедрение эффективной наукоемкой инновационной технологии получения бесцементного вяжущего и строительных материалов из активированного техногенного электросталеплавильного сырья.

Выполненные исследования позволили накопить значительный экспериментальный материал, являющийся необходимым инструментом для понимания различных процессов, протекающих при гидратации бесцементного сырья — развитие микроструктуры, взаимодействие добавок-активаторов с новообразованиями. Установлено, что вяжущее [12], полученное на основе электросталеплавильного шлака, перспективно для использования при приготовлении бетонов, растворов, строительных и закладочных смесей.

Использование электросталеплавильного шлака Новокузнецкого металлургического комбината в составе новых бесцементных композиционных материалов из отходов промышленности: шлакоблоков; тротуарных и фасадных плиток; лотков; бордюрных, бортовых и газонных камней позволит не только экономить природные ресурсы, но и обеспечить этими материалами предприятия торговли, промышленности, сферы строительства и ремонта.

Регион получит широкий спектр строительной продукции, которая может стать предметом импорта в другие области страны и ближнее зарубежье, осуществляя приток финансовых средств.

При выборе и последующем использовании таких материалов будут решены вопросы экологии, которые с каждым годом становятся все более актуальными, особенно в неблагополучных в этом отношении регионах.

Задача государства — рачительное использование уникальных природных ресурсов, поэтому для России отказ от природных материалов приобретает в настоящее время большое значение.

Дальнейшие лабораторные эксперименты и теоретические исследования по определению физико-механических, деформативных и эксплуатационных свойств разработанных материалов в специфических условиях длительного нагружения и воздействия среды при высоких или низких температурах позволят создать методику проектирования материалов различного направления использования.

Накопленный к настоящему времени опыт применения электросталеплавильных шлаков в строительной индустрии [13] показывает, что оптимизация состава и структуры строительных композитов будет способствовать расширению и совершенствованию их номенклатуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Логвиненко А. А.* Материалы для строительства укрепленных оснований автомобильных дорог с использованием отвальных электросталеплавильных шлаков: автореф. дис… канд. техн. наук. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2003. 20 с.

2. *Рубанов Ю. К.* Первичная переработка и использование саморассыпающихся электросталеплавильных шлаков в технологиях силикатных материалов: автореф. дис… канд. техн. наук. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2003. 17 с.

3. *Кашибадзе Н. В.* Сухие строительные смеси с использованием сталеплавильных шлаков: автореф. дис… канд. техн. наук. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2009. 21 с.

4. *Бордянская М. В.* Способ получения строительных материалов: пат. № 2031875 Рос. Федерация: МПК С4В7/14, заявл. 06.12.1991; опубл. 27.03.1995.

5. *Уколова А. В., Резанов А. А., Шубин П. Л.* Композиционный строительный материал на основе сталеплавильного шлака ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, материалы 13-й межрег. науч.-практ. конф. «Высокие технологии в экологии» (20—21 мая 2010). С. 110—114.

6. *Зубехин А. П., Довженко И. Г.* Повышение качества керамического кирпича с применением основных сталеплавильных шлаков // Строительные материалы. 2011. № 4. С. 57—60.

7. *Федынин Н. И., Коробейников А. П., Ворошилов А. Ю.* Вяжущее: пат. № 2186043 Рос. Федерация: Т 2000118501/03, заявл. 11.07.2000., опубл. 27.07.2002.

8. *Мечай А. А., Барановская Е. И., Ласанкин С. В.* Автоклавный ячеистый бетон с использованием электросталеплавильного шлака / Труды БГТУ: Химия и технология неорганических веществ. 2011. № 3. С. 84—87.

9. *Дроздов А. А., Текучева Е. В., Шухова В. Г.* Изучение возможности получения активной минеральной добавки в цемент из отвальных шлаков ОЭМК // Сухие строительные смеси. 2008. № 4. С. 54—79.

10. Механоактивация вяжущих композиций на основе техногенных продуктов / Л. М. Сулименко, Ю. Р. Кривобородов, В. В. Плотников, Н. И. Шалуненко // Известия вузов. Строительство. 1998. № 10. С. 51—56.

11. *Шоева Т. А., Каминский Ю. Д.* Механохимическое получение смешанного вяжущего // Материалы Международной науч.-технич. конф. «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». Казань, 2010. Т. 1. С. 181—183.

12. *Корнеева Е. В.* Бесцементное вяжущее: пат. 2542074 Рос. Федерация: МПК Е 21 F 15/00, С 04 В 18/14/., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Сибирский гос. индустр. ун-т. № 2014106301/03; заявл. 19.02.14; опубл. 20.02.15, Бюл. № 5. С. 8897.

13. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков / Н. А. Шаповалов, Л. Х. Загороднюк, И. В. Тикунова, А. Ю. Шекина // Фундаментальные исследования. 2013. № 1 (часть 2). С. 439—443.

© Корнеева Е. В., Корнеев В. А., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Корнеева Е. В., Корнеев В. А. Использование электросталеплавильного шлака в производстве строительных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 45—53.

Об авторах:

Корнеева Елена Викторовна — канд. техн. наук, доц. кафедры строительных технологий и материалов, Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ). Российская Федерация, 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, korneev_va@list.ru

Корнеев Виктор Александрович — канд. техн. наук, зав. лабораториями кафедры прикладных информационных технологий и программирования, Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ). Российская Федерация, 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, korneev_va@list.ru

E. V. Korneeva, V. A. Korneev

USE OF ELECTRIC FURNACE SLAG IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

Nowadays in the production of construction materials the transition to innovative energy-efficient non-waste technology with the use of large-capacity industrial wastes is observed.

Recyclable mineral resources are a valuable raw material in the production of construction materials. They compete successfully with natural ones.

Use of electric furnace slag produced and accumulated at the metallurgical enterprises of the Kuzbass will create local industrial raw material base for the construction industry in the region, solving major economic problems.

K e y w o r d s: large-capacity raw wastes, electric furnace slag, processing technology, activation, clinkerless cement.

REFERENSES

1. Logvinenko A. A. *Materialy dlya stroitel'stva ukreplennykh osnovanii avtomobil'nykh dorog s ispol'zovaniem otval'nykh elektrostaleplavil'nykh shlakov: avtoref. dis… kand. tekhn. nauk* [Materials for the construction of strengthened foundations for highways with the use of waste electric-furnace slags. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Belgorod, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2003. 20 p.

2. Rubanov Yu. K. *Pervichnaya pererabotka i ispol'zovanie samorassypayushchikhsya elektrostaleplavil'nykh shlakov v tekhnologiyakh silikatnykh materialov: avtoref. dis… kand. tekhn. nauk* [Primary recycling and use of self-flow electric-furnace slags in silicate material technologies. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Belgorod, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2003. 17 p.

3. Kashibadze N. V. *Sukhie stroitel'nye smesi s ispol'zovaniem staleplavil'nykh shlakov: avtoref. dis… kand. tekhn. nauk* [Dry construction mixes with the use of electric-furnace slags. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Belgorod, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2009. 21 p.

4. Bordyanskaya M. V. *Sposob polucheniya stroitel'nykh materialov: pat. № 2031875 Ros. Federatsiya: MPK S4V7/14, zayavl. 06.12.1991; opubl. 27.03.1995* [Method for the production of construction materials: patent no. 2031875 Russian Federation, MPK S4V7/14, applied on December 6, 1991; published on March 27, 1995].

5. Ukolova A. V., Rezanov A. A., Shubin P. L. [Composite construction material on the basis of steel-smelting slag produced by OJSC “Oskolsky Electrometallurgical Works”]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta, materialy 13-i mezhreg. nauch.-prakt. konf. «Vysokie tekhnologii v ekologii» (20—21 maya 2010)* [Scientific News of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Proc. of the XIII Cross-Regional Sc.-Pr. Conf. “High Technologies in Ecology" (May 20—21, 2010)]. Pp. 110—114.

6. Zubekhin A. P., Dovzhenko I. G. [Upgrading of ceramic brick using main steel-smelting slags]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2011, no. 4, pp. 57—60.

7. Fedynin N. I., Korobeinikov A. P., Voroshilov A. Yu. *Vyazhushchee: pat. № 2186043 Ros. Federatsiya: T 2000118501/03, zayavl. 11.07.2000., opubl. 27.07.2002* [Binding materials: patent no. 2186043 Russian Federation: T 2000118501/03, applied on July 11, 2000, published on July 27, 2002].

8. Mechai A. A., Baranovskaya E. I., Lasankin S. V. [Autoclaved aerated concrete with the use of electric-furnace slag]. *Trudy BGTU: Khimiya i tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv* [Works of BSTU: Chemistry and technology of nonorganic substances], 2011, no. 3, pp. 84—87.

9. Drozdov A. A., Tekucheva E. V., Shukhova V. G. [Study of the possibility to produce active mineral additive in cement using waste slags produced by OEMK]. *Sukhie stroitel'nye smesi* [Dry construction mixes], 2008, no. 4, pp. 54—79.

10. Sulimenko L. M., Krivoborodov Yu. R., Plotnikov V. V., Shalunenko N. I. [Mechanically-active binding compositions on the basis of technogenic products]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of the Institutions of Higher Education. Construction], 1998, no. 10, pp. 51—56.

11. Shoeva T. A., Kaminskii Yu. D. [Mechanochemical production of mixed binding material]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauch.-tekhnich. konf. «Dostizheniya i problemy materialovedeniya i modernizatsii stroitel'noi industrii* [Proc. of the Int. Sc.-Tech. Conf. “Achievements and Problems of Material Engineering and Upgrading of Construction Industry”]. Kazan, 2010, v. 1, pp. 181—183.

12. Korneeva E. V. *Bestsementnoe vyazhushchee: pat. 2542074 Ros. Federatsiya: MPK E 21 F 15/00, S 04 V 18/14/., zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO Sibirskii gos. industr. un-t. № 2014106301/03; zayavl. 19.02.14; opubl. 20.02.15, Byul. № 5. C. 8897* [Cement-free binding material: patent 2542074 Russian Federation: MPK E 21 F 15/00, C 04 V 18/14/, applicant and patentee SEI of HPE Siberian State Industrial University, no. 2014106301/03; applied on February 19, 2014; published on December 20, 2015, ballot no. 5, p. 8897].

13. Shapovalov N. A., Zagorodnyuk L. H., Tikunova I. V., Shekina A. Yu. [Rational ways of use of steel-smelting slags]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches], 2013, no. 1 (part 2), pp. 439—443.

For citation:

Korneeva E. V., Korneev V. A. [Use of electric furnace slag in the production of construction 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], 2016, iss. 45(64). Pp. 45—53.

About authors:

Korneeva Elena Viktorovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies and Materials Department, Siberian State Industrial University (SIBSIU). 42, Kirova St., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, korneev_va@list.ru

Korneev Viktor Aleksandrovich — Candidate of Engineering Sciences, Construction Technologies and Materials Department, Siberian State Industrial University (SIBSIU). 42, Kirova St., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, korneev_va@list.ru

УДК 620.1:691.32

Т. А. Низина, А. С. Балыков

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

ПОСТРОЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ «СОСТАВ — СВОЙСТВО» ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Изложена методика построения экспериментально-статистических моделей «модифицирующие добавки, дисперсные волокна — свойство» для исследования физико-механических характеристик модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов. Перечислены преимущества использования моделей данного класса по сравнению с аналогами в виде полиномов Шеффе и др. Графическое отображение применяемой полиномиальной системы для каждой характеристики представляло собой вторичную модель из 7 треугольных диаграмм Гиббса — Розебома, построенных с применением программы Statistica 10.0.1011 и фиксируемых в 7 точках несущего треугольника с изолиниями максимумов исследуемых свойств.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экспериментально-статистическая модель «модифицирующие добавки, дисперсные волокна — свойство», план эксперимента, коэффициент полиномиального уравнения, треугольная диаграмма Гиббса — Розебома, статистический регрессионный анализ, дисперсно-армированный мелкозернистый бетон.

Введение. Математическое моделирование является основной базой теоретических исследований и имеет комплекс несомненных преимуществ, главное из которых заключается в получении качественных и количественных данных о любой стороне моделируемого явления при различных начальных параметрах проведения вычислительного эксперимента. На современном этапе развития строительного материаловедения многие исследования требуют постановки сложных экспериментов. Весьма актуальной проблемой становится извлечение наибольшего количества сведений об изучаемых процессах при ограниченных трудозатратах. В связи с этим требуется широкое применение методов, не только дающих возможность обрабатывать экспериментальные данные, но и позволяющих оптимальным образом организовывать и реализовывать эксперимент [1—8].

При разработке композиционных материалов для обеспечения требуемого комплекса свойств необходимы количественные соотношения между показателями качества материала, параметрами его структуры, рецептурно-технологическими и эксплуатационными факторами. Решение данных задач осуществляется, в основном, с помощью получаемых по экспериментальным данным моделей разных типов, среди которых благодаря развитию компьютерных технологий и математической теории эксперимента широко используются многофакторные полиномиальные модели [9, 10], в частности класс регрессионных моделей, эквивалентных разложению функции $Y(x_1, x_2, \ldots, x_k) = Y(\vec{x})$ в ряд Тейлора [10, 11] — полиномы степени m от k взаимонезависимых переменных:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} \cdot x_i^2 + \ldots + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} \cdot x_i^m. \qquad (1)$$

Преимущества использования полиномиальных моделей класса (1) и основанных на них методов планирования эксперимента на гиперкубе в рецептурно-технологических исследованиях очевидны. Однако с их помощью решить задачи анализа и оптимизации свойств мелкозернистых фибробетонов под влиянием дисперсного армирования и модифицирующих добавок как многокомпонентных систем невозможно в тех случаях, когда нужно охватить областью эксперимента весь диапазон содержания определенного вида фибры или модификатора (от 0 до 100 %). Это обусловлено тем, что все способы описания рецептуры *q*-компонентной системы [10, 12] вытекают из уравнения ее материального баланса, имеющего в правой части константу G_Σ:

$$G_1 + G_2 + \ldots + G_i + \ldots + G_q = \sum_{i=1}^{q} G_i = G_\Sigma = \text{const}. \quad (2)$$

Равенство (2) линейно связывает все рецептурные факторы: любое изменение содержания любого компонента системы влечет за собой изменение содержания хотя бы одного другого. Разделив обе части (2) на G_Σ, состав запишется в виде долей (в частности, массовых) каждого компонента $0 \le v_i \le 1$:

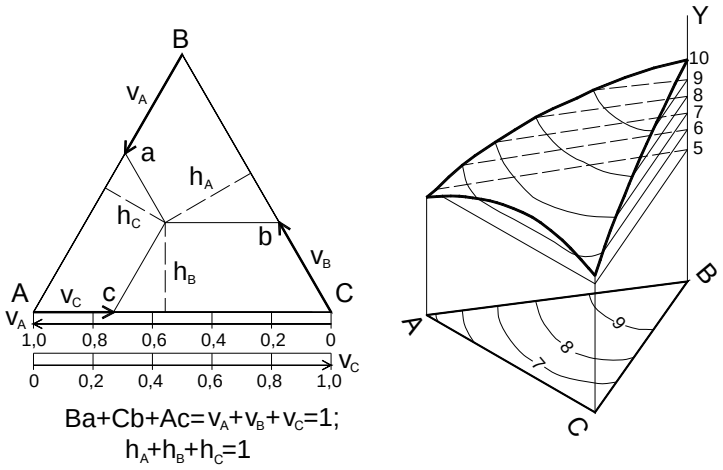
$$v_1 + v_2 + \ldots + v_i + \ldots + v_q = 1. \quad (3)$$

Использование полиномиальных моделей (1) для описания *q*-компонентной системы возможно при определенных вариантах записи варьируемых факторов и представляет некоторые сложности, что в конечном итоге сказывается на качестве исследования многокомпонентных систем. Поэтому для их описания в работе [10] предлагается применять иные, чем (1), классы экспериментально-статистических моделей и приемов планирования эксперимента.

В физической химии, металловедении и других химико-технологических науках в качестве стандартных инструментов исследований широко применяются симплексы (выпуклые многогранники, не имеющие диагональных сечений): прямая, треугольник, тетраэдр, пентатоп и др. [10, 13]. Для наглядного представления изменения исследуемых характеристик материалов при варьировании в составах трех факторов предпочтительным является использование правильного треугольника как базы трехкомпонентных диаграмм (рис. 1), позволяющее выразить точно, графическим путем, не только качественно, но и количественно взаимные отношения и свойства, не зная в большинстве случаев алгебраического уравнения функции, определяющей соотношения между составом и свойствами однородного тела.

Наглядность треугольника (рис. 1) послужила основанием для выбора его Гиббсом (по соотношению отрезков) и Розебомом (по соотношению высот) в качестве поля для отображения отношений связей между трехкомпонентным составом и термодинамическими константами вещества.

В начале — середине XX в. рядом исследователей (Е. С. Федоровым, В. Н. Лодочниковым, В. П. Радищевым, В. Я. Аносовым и др.) были предложены различные приемы преодоления сложностей, возникающих при построении и исследовании диаграмм «состав — свойство». В работе [14] разработаны новые методы получения диаграмм с проекциями, пригодными для количественных расчетов, а в [15] — пути их сочетания с различными математическими моделями (графами, матрицами, полиномами), реализуемыми на ЭВМ.



а *б*

Рис. 1. Правильный треугольник как база трехкомпонентной диаграммы [10]: *а* — отражение состава в виде соотношения отрезков на диаграмме; *б* — принцип отражения величины свойства на диаграмме с помощью изолиний

Для описания поверхности диаграмм «состав — свойство» прямое использование обычных полиномов (1) от линейно связанных факторов $\Sigma v_i = 1$ оказывается невозможным, так как информационная матрица [10, с. 38], необходимая для оценки метода наименьших квадратов (МНК-оценки), будет вырождена вне зависимости от плана на симплексе. Поэтому необходимы другие классы моделей для описания данных диаграмм. Наибольшее распространение среди них получили модели в виде полиномов (4) и симплекс-решетчатые насыщенные планы Шеффе [16]:

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^{q} A_i \cdot v_i + \sum_{j>i=1}^{q} A_{ij} \cdot v_i \cdot v_j + \ldots \qquad (4)$$

Уравнение регрессии (4) получается из (1) при замене x_i на v_i и при использовании линейной связи факторов (3):

$$b_0 = \sum_{i=1}^{q} b_0 \cdot v_i;\ v_i^2 = v_i - \sum_{1 \le i \le q} v_i \cdot v_j \quad (i \ne j). \qquad (5)$$

Коэффициенты A_i и A_{ij} имеют четкий физический смысл (A_i соответствуют свойствам чистых компонентов, а A_{ij} указывают на нелинейность изменения свойств при смешивании компонентов) и являются линейными комбинациями параметров исходного полинома (1): $A_1 = b_0 + b_1 + b_{11}$; $A_{12} = b_{12} + b_{11} + b_{22}$ и т. п. [10].

Планы Шеффе являются симметричными и ортогональными, позволяют оценить параметры используемых моделей с помощью достаточно простых расчетных формул, однако симплекс-решетчатое планирование имеет некоторые недостатки: для аппроксимации сложных зависимостей требуется применение полиномов высоких степеней, при этом теряются преимущества подхода Шеффе (планы неоптимальные, число опытов становится большим

и т. п.). Сложности в использовании приведенных полиномов и экспериментально-статистических моделей на их основе привели к появлению в конце 70-х гг. XX в. новых форм моделей для систем «смесь, технология — свойства» (в виде приведенных полиномов, полученных из (1) с помощью подстановок, аналогичных (5)) и оптимальных планов с приемлемым числом опытных точек [10, 13, 15].

Т. В. Ляшенко был предложен [10] существенно новый подход, заключающийся в разработке специального класса полиномиальных моделей для описания систем «смесь I, смесь II, технология — свойства», дающего возможность перехода от раздельного анализа диаграмм «химико-минералогический состав — свойство» и «зерновой состав — свойство» наполненных полимерных композиций к объединенному. Данная методика учитывала как физические особенности композитов, так и опыт моделирования систем «технология — свойства» и «состав — свойства». Кроме этого были предложены алгоритмы решения оптимизационных задач в системах с линейно связанными элементами, а также методы и средства отражения результатов моделирования для решения конкретных инженерных задач с использованием полученных моделей.

Системы «смесь I, смесь II, технология — свойства» ($M_IM_{II}TQ$; «mixture, technology, quality») при фиксировании одной или двух групп переменных переходят в системы «смесь I, смесь II — свойства» ($M_IM_{II}Q$) и «смесь (состав) — свойства» (MQ) [10]. Систему $M_IM_{II}Q$ целесообразно и эффективно применять в том числе для моделирования и исследования свойств модифицированных мелкозернистых фибробетонов при совместном влиянии модифицирующих добавок (смесь I) и дисперсного армирования (смесь II). При этом приведенный полином (6) для описания данной модели представляет собой многочлен второй степени относительно трех линейно связанных факторов v_i (задающих смесь I — модифицирующие добавки) и трех линейно связанных факторов w_i (задающих смесь II — дисперсные волокна), коэффициенты которого имеют четкий физический смысл [10]: каждый из девяти коэффициентов k_{ij} в модели (6) численно равен величине свойства композита $\hat{y}$, наполненного одной парой основных мононаполнителей (модификатор + фибра); коэффициенты b_{ij} и d_{ij} оценивают нелинейность (синергизм или антагонизм по отношению к данному свойству) влияния смешивания двух модификаторов (b_{ij}) или фибр (d_{ij}):

$$\begin{aligned}\hat{y} = {} & b_{12}\cdot v_1\cdot v_2 + b_{13}\cdot v_1\cdot v_3 + b_{23}\cdot v_2\cdot v_3 + d_{12}\cdot w_1\cdot w_2 + d_{13}\cdot w_1\cdot w_3 + \\ & + d_{23}\cdot w_2\cdot w_3 + k_{11}\cdot v_1\cdot w_1 + k_{21}\cdot v_2\cdot w_1 + k_{31}\cdot v_3\cdot w_1 + k_{12}\cdot v_1\cdot w_2 + \\ & + k_{22}\cdot v_2\cdot w_2 + k_{32}\cdot v_3\cdot w_2 + k_{13}\cdot v_1\cdot w_3 + k_{23}\cdot v_2\cdot w_3 + k_{33}\cdot v_3\cdot w_3.\end{aligned} \quad (6)$$

Модель (6) является более содержательной и информативной по сравнению с рассматриваемыми ранее полиномами (1) и (4) благодаря учету в своей структуре ряда физических особенностей объектов моделирования. К основным преимуществам данной модели можно отнести охват полной области составов наполнителя, включая однокомпонентные; четкий физический смысл численных параметров моделей; низкие экспериментальные затраты

на их построение по сравнению с моделями того же уровня информативности (например, полиномы Шеффе (4)) и т. д. [10].

Условия эксперимента и моделирование. В процессе экспериментального исследования изучалось влияние дисперсных волокон и модифицирующих добавок на предел прочности при сжатии (ГОСТ 310.4) и на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4), плотность в нормальных влажностных условиях (ГОСТ 12730.1-78) в возрасте 28 суток дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов.

При построении полиномиальных моделей физико-механических характеристик использовались данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, при планировании которых были учтены результаты исследований, приведенных в работах [16, 17], и предварительных экспериментов по определению границ целесообразного применения применяемых добавок и фибр.

Серии образцов-призм 40 × 40 × 160 мм изготавливались с использованием портландцемента класса ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент»; в качестве мелкозернистого заполнителя применялся речной песок с размером зерна менее 5 мм, добываемый в поселке Смольный Ичалковского района Республики Мордовия с долей 65 % от массы твердой фазы фибробетонной смеси; в качестве пластификатора для обеспечения необходимых реологических свойств — высококачественный суперпластификатор Melflux 1641 F производства BASF Construction Polymers (Trostberg, Германия), вводимый в количестве 0,5 % от массы вяжущего.

В эксперименте варьировалось 6 рецептурных факторов, образующих две группы:

1) массовые доли модифицирующих добавок ($0 \le v_i \le 1;\ \Sigma v_i = 1;\ i = 1,\ 2,\ 3$): v_1 — микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ-85) производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы», МКУ; v_2 — высокоактивный метакаолин белый производства ООО «Мета-Д», ВМК; v_3 — гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «Пенетрон Адмикс» производства завода гидроизоляционных материалов «Пенетрон» (г. Екатеринбург), Адмикс;

2) массовые доли дисперсных волокон ($0 \le w_i \le 1; \Sigma w_i = 1; i = 1,\ 2,\ 3$): w_1 — низкомодульное полипропиленовое мультифиламентное волокно с длиной резки 12 мм, диаметром 25...35 мкм, плотностью 0,91 г/см^3, ППН; w_2 — высокомодульное полиакрилонитрильное синтетическое волокно специальной обработки для бетонов FibARM Fiber WB с длиной резки 12 мм, диаметром 14...31 мкм, плотностью 1,17 ± 0,03 г/см^3, ПАН; w_3 — модифицированная астраленами базальтовая микрофибра под фирменным названием «Астрофлекс-МБМ» длиной 100...500 мкм, средним диаметром 8...10 мкм, насыпной плотностью 800 кг/м^3, с содержанием астраленов 0,0001...0,01 % от массы фибры, МБМ.

Уровни варьирования исследуемых рецептурных факторов в кодированных величинах и их численные значения представлены в табл. 1. Для исследования физико-механических характеристик модифицированных мелкозернистых дисперсно-армированных бетонов был синтезирован насыщенный D-оптимальный план эксперимента [10], содержащий 15 опытных точек.

Таблица 1

Уровни варьирования исследуемых факторов экспериментального исследования

Варьируемые факторы			Уровни варьирования			
			0	0,333	0,5	1
Вид добавки	v_1	МКУ, % от массы цемента	0	6,667	10	20
	v_2	ВМК, % от массы цемента	0	2	3	6
	v_3	Адмикс, % от массы цемента	0	0,5	0,75	1,5
Вид фибры	w_1	ППН, % от массы цемента	0	0,333	0,5	1
	w_2	ПАН, % от массы цемента	0	0,5	0,75	1,5
	w_3	МБМ, % от массы цемента	0	1,667	2,5	5

Технология изготовления дисперсно-армированной бетонной смеси включала несколько этапов. На первом этапе осуществлялось введение и перемешивание в сухом состоянии требуемого количества вяжущего, заполнителя и модифицирующих добавок; на втором вводились дисперсные волокна с первой порцией воды (В/Ц = 0,2); на третьем производилась корректировка составов водой для получения равноподвижных составов. Данная ступенчатая схема приготовления дисперсно-армированной бетонной смеси позволяет избежать комкования волокон при перемешивании, тем самым позволив максимально использовать преимущества дисперсного армирования цементных композитов. После окончания перемешивания смесь укладывалась в формы, смазанные отработанным машинным маслом, и подвергалась виброуплотнению на вибростоле 3 раза по 5 с. Образцы в формах, покрытых влажной тканью, хранились в помещении при температуре 18...20 °С в течение 24 ч. Затем образцы извлекались из форм, маркировались и выдерживались в камерах нормального твердения (эксикаторах) при температуре 20 ± 2 °С с относительной влажностью не менее 95 %.

Прочностные характеристики (предел прочности при сжатии и на растяжение при изгибе) определялись на установке WilleGeotechnik® (модель 13-PD/401) для испытания строительных материалов [18]. Данный пресс, дополнительно оборудованный климатической камерой, позволяет регулировать влажность (от 10 до 96 %) и температуру (от –40 до +100 °С) среды испытания. Настройка основных параметров и фиксирование полученных экспериментальных результатов осуществлялось с применением программного обеспечения GEOSYS 8.7.8.

Экспериментально-статистические модели зависимости исследуемых физико-механических показателей качества мелкозернистых фибробетонов от его наполнителей в виде модифицирующих добавок (смесь I) и дисперсных волокон (смесь II) задавались в виде приведенного полинома $M_I M_{II} Q$ «смесь I, смесь II — свойство» вида (6). Выбор используемого плана эксперимента и выбранного аппроксимирующего полинома второй степени обусловлен приведенными выше преимуществами данных ЭС-моделей.

Перед решением задач по данным моделям выполнялся их полный статистический регрессионный анализ. На первом этапе были осуществлены: оценка параметров распределения случайных величин (средних $\overline{y}$, дисперсий S_u^2, коэффициентов вариации v_u и т.д.) в каждой точке плана, проверка

однородности оценок рассеяния по всем точкам плана и вычисление средней абсолютной $S_э$ и относительной $\delta_э$ ошибок эксперимента, оценка коэффициентов парной корреляции $r\{Y_i, Y_j\}$ по всему массиву данных.

Адекватность моделей (6) оценивалась по средней дисперсии неадекватности $S^2_{на}$ с применением *F*-критерия Фишера при риске $\alpha = 0,05$, а также по абсолютным отклонениям между экспериментальными значениями выходных параметров y_u и предсказанными моделью значениями $\hat{y}_u$, причем в анализ входили все точки плана и контрольные точки [4].

Все этапы регрессионного анализа, в том числе и расчет МНК-оценок регрессионных параметров модели, а в конечном итоге и вычисление коэффициентов полинома (6) проводился с применением компьютерных технологий в виде разработанной оболочки в программе Microsoft Excel.

В результате статистической обработки полиномиальных моделей были получены коэффициенты уравнений регрессии, отражающих связь между исследуемыми свойствами композитов и содержанием варьируемых факторов (табл. 2).

Таблица 2

Числовые значения коэффициентов регрессии (6)

Члены уравнений регрессии	Числовые значения коэффициентов регрессии для исследуемого свойства композита		
	Плотность, кг/м^3	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
$v_1 \cdot v_2$	–240,7	0,65	12,65
$v_1 \cdot v_3$	163,4	–3,28	–25,24
$v_2 \cdot v_3$	5,63	–1,02	–2,98
$w_1 \cdot w_2$	1,35	2,16	24,16
$w_1 \cdot w_3$	–110,0	1,02	29,04
$w_2 \cdot w_3$	179,4	3,03	11,09
$v_1 \cdot w_1$	1989,6	4,70	29,17
$v_2 \cdot w_1$	2139,5	3,69	31,09
$v_3 \cdot w_1$	2124,3	4,73	36,32
$v_1 \cdot w_2$	2025,4	4,92	28,21
$v_2 \cdot w_2$	2203,9	5,88	53,36
$v_3 \cdot w_2$	2237,7	4,82	40,76
$v_1 \cdot w_3$	2006,5	3,68	24,12
$v_2 \cdot w_3$	2147,3	5,59	42,26
$v_3 \cdot w_3$	2210,5	5,13	38,29

Из модели $\hat{y}(v_1, v_2, v_3; w_1, w_2, w_3)$ ($M_I M_{II} Q$) получаются два вида моделей «смесь I (модифицирующие добавки) — свойство» ($\hat{y}(v_1, v_2, v_3)$; $M_I Q$) и «смесь II (дисперсные волокна) — свойства» ($\hat{y}(w_1, w_2, w_3)$; $M_{II} Q$) при фиксировании соответствующей группы рецептурных факторов. В качестве основ-

ного информационного элемента для начального анализа исследуемых свойств была принята диаграмма «модифицирующие добавки — свойство» ($\hat{y}(v_1, v_2, v_3)$; M_IQ), при этом для каждой исследуемой физико-механической характеристики построено по 7 треугольных диаграмм Гиббса — Розебома в виде двумерных карт линий уровня (см. рис. 1) с использованием программы Statistica 10.0.1011.

Для дальнейшего анализа влияния наполнителей на свойства цементных композитов вводился обобщающий показатель — числовая характеристика поля свойства в виде абсолютного значения исследуемого показателя, соответствующего ее максимуму $\hat{y}_{max}$. Для этого были синтезированы 2 плана эксперимента, содержащих по 7 точек каждый (табл. 3), уровни варьирования рецептурных факторов представлены в табл. 1. ЭС-модели вида «смесь I — максимум свойства» ($\hat{y}_{max}(v_1, v_2, v_3)$; M_IQ_{max}) и «смесь II — максимум свойства» ($\hat{y}_{max}(w_1, w_2, w_3)$; $M_{II}Q_{max}$), отражающие связь между варьируемыми факторами и максимумами исследуемых свойств, представляют собой полиномиальные уравнения (7) и (8):

$$\hat{y}_{max} = b_1 \cdot v_1 + b_2 \cdot v_2 + b_3 \cdot v_3 + d_{12} \cdot v_1 \cdot v_2 + d_{13} \cdot v_1 \cdot v_3 + d_{23} \cdot v_2 \cdot v_3 + k_{123} \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot v_3; \quad (7)$$

$$\hat{y}_{max} = b_1 \cdot w_1 + b_2 \cdot w_2 + b_3 \cdot w_3 + d_{12} \cdot w_1 \cdot w_2 + d_{13} \cdot w_1 \cdot w_3 + d_{23} \cdot w_2 \cdot w_3 + k_{123} \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot w_3. \quad (8)$$

Регрессионный анализ ЭС-моделей (7) и (8) проводился представленными выше методами, что и для ЭС-модели (6), в результате чего были получены коэффициенты соответствующих уравнений (табл. 4).

Таблица 3

Планы экспериментального исследования максимумов свойств

№ состава	Варьируемые факторы в кодированных величинах					
	Вид добавки			Вид фибры (волокна)		
	v_1 (МКУ)	v_2 (ВМК)	v_3 (Адмикс)	w_1 (ППН)	w_2 (ПАН)	w_3 (МБМ)
1	1	0	0	1	0	0
2	0	1	0	0	1	0
3	0	0	1	0	0	1
4	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5
7	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333

Используя данные табл. 4, с помощью программы Statistica 10.0.1011 для полиномов (7) и (8) построены по 2 треугольные диаграммы Гиббса — Розебома для каждой исследуемой характеристики, отображающие соответствующие системы $\hat{y}_{max}(v_1, v_2, v_3)$ и $\hat{y}_{max}(w_1, w_2, w_3)$. Для дальнейшего анализа в качестве основного элемента приняты диаграммы вида «дисперсные волокна — максимум свойства» ($\hat{y}_{max}(w_1, w_2, w_3)$; $M_{II}Q_{max}$).

Таблица 4

Числовые значения коэффициентов регрессий (7) и (8)

Члены уравнений регрессии	Числовые значения коэффициентов регрессии для исследуемого свойства композита		
	Плотность, кг/м^3	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
v_1 / w_1	2060,8 / 2139,5	5,35 / 4,73	34,73 / 36,32
v_2 / w_2	2220,5 / 2237,7	6,49 / 5,88	53,36 / 53,36
v_3 / w_3	2268,9 / 2210,5	5,73 / 5,59	45,60 / 42,26
$v_1 \cdot v_2$ / $w_1 \cdot w_2$	–240,7 / –29,03	0,068 / 0,778	3,85 / 13,70
$v_1 \cdot v_3$ / $w_1 \cdot w_3$	163,4 / –140,4	–3,86 / 0,106	–26,08 / 21,11
$v_2 \cdot v_3$ / $w_2 \cdot w_3$	5,63 / 179,4	–1,02 / 3,03	–10,94 / 11,09
$v_1 \cdot v_2 \cdot v_3$ / $w_1 \cdot w_2 \cdot w_3$	0 / 45,57	0,87 / –2,47	13,20 / 8,10

На заключительном этапе эксперимента методами компьютерной графики для каждой исследуемой физико-механической характеристики производился синтез вторичных моделей с целью анализа влияния модифицирующих добавок (v_i) на обобщающий показатель $\hat{y}_{\max}$, отражающий роль дисперсного армирования (w_i). Для отображения изменяющихся трехкомпонентных диаграмм «модифицирующие добавки — свойство» целесообразно использовать [4] их дискретный набор на треугольнике «дисперсные волокна — максимум свойства», при этом вторичные модели $\hat{y}_{\max(w)}(v)$ отображаются в виде треугольника, «скользящего» по несущему треугольнику и фиксируемого в семи точках-центроидах (3 угла + 3 середины сторон + центр тяжести). Пример получаемых графических моделей, описывающих изменение плотности составов мелкозернистых дисперсно-армированных бетонов, приведен на рис. 2.

Заключение. Экспериментально-статистические модели вида «смесь I, смесь II — свойства» являются более содержательными по сравнению с аналогами благодаря учету в своей структуре ряда физических особенностей объектов моделирования, а также требуют низких экспериментальных затрат на их построение по сравнению с моделями того же уровня информативности. Графическое отображение данной системы в виде вторичной модели, представляющей дискретный набор 7 треугольных диаграмм исследуемых свойств от содержания наполнителей на несущем треугольнике с изолиниями обобщающего показателя, позволяет наглядно показать изменение исследуемых свойств дисперсно-армированных модифицированных мелкозернистых бетонов и извлечь максимальные сведения при анализе данной модели. Этап расчленения многофакторной модели $\hat{y}(v_1, v_2, v_3; w_1, w_2, w_3)$ необходим для обеспечения условий ее инженерного анализа: происходит переход от непрерывного описания воздействия факторов к дискретным «сечениям» факторного пространства; получаются модели, описывающие более простые по структуре системы вплоть до конкретной числовой оценки свойства в отдельном «узле» факторного пространства [4].

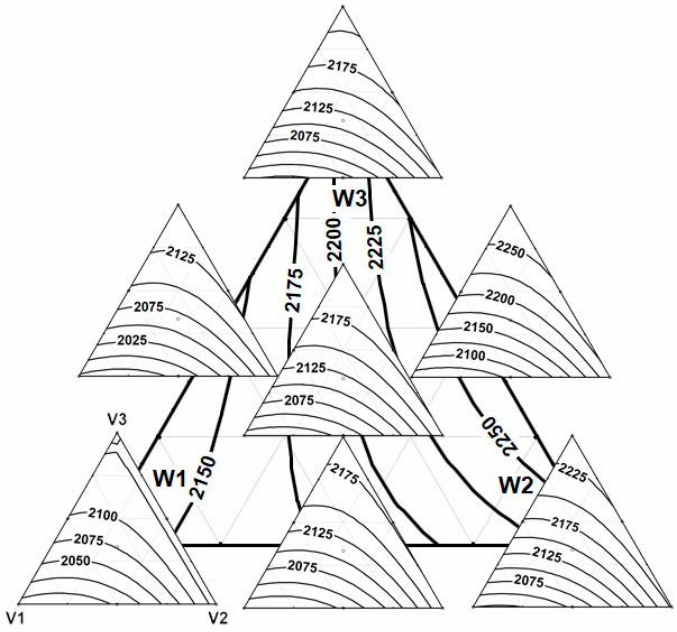


Рис. 2. Диаграммы «модифицирующие добавки — плотность (кг/м^3)» и изолинии максимальных значений плотности дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов на треугольнике «дисперсные волокна — свойство»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В.* ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2006. 116 с.

2. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов, И. И. Николов. Киев: Будивэльнык, 1989. 240 с.

3. *Ляшенко Т. В.* Области допустимых технологических решений в полном и локальных полях свойств композитов // Вісник Одес. ДАБА. Одеса: Місто майстрів. 2001. Вип. 5. С. 75—80.

4. *Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В.* Методы компьютерного материаловедения и технология бетона // Будівельні конструкції: Міжвід. наук. техн. зб. Киев: НДІБК, 2002. Вип. 56. Сучасні проблеми бетону та його технологій. С. 217—226.

5. Преодоление неопределенностей целей в задаче многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев, В. А. Смирнов // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 23—26.

6. *Низина Т. А., Кисляков П. А.* Оптимизация свойств эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами // Строительные материалы. 2009. № 9. С. 78—80.

7. *Низина Т. А., Кочетков С. Н.* Оптимизация составов наномодифицированных цементных вяжущих // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 1. С. 35—41.

8. *Селяев В. П., Низина Т. А., Егунова Е. А.* Оптимизация составов полиуретановых композиций с применением экспериментально-статистических моделей // Моделирование и оптимизация композитов: материалы к международному семинару, посвященному 80-летию В. А. Вознесенского. Одесса: Астропринт, 2014. С. 74—77.

9. *Налимов В. В.* Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 207 с.

10. *Ляшенко Т. В.* Оптимизация наполнителей полиэфирных связующих на основе моделей нового класса: дис… канд. техн. наук. Одесса, 1984. 236 с.

11. *Налимов В. В., Чернова Н. А.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.

12. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В. А. Вознесенский, В. Н. Выровой, В. Я. Керш, Т. В. Ляшенко и др. Киев: Будівельник, 1983. 144 с.

13. *Коваль С.* Оптимизация реологических параметров матрицы самоуплотняющегося бетона с использованием моделей «смесь — технология — свойства» // Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. № 59. С. 86—92.

14. *Горощенко Я. Г.* Массоцентрический метод изображения многокомпонентных систем. Киев: Наукова думка, 1982. 263 с.

15. *Карповский Е. Я., Ляшенко Т. В., Чернецкий А. А.* Повышение качества и эффективности исследований при использовании математической теории эксперимента. Киев: Общество «Знание» УССР, 1981. 26 с.

16. *Низина Т. А., Балбалин А. В.* Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 148—153.

17. *Селяев В. П., Низина Т. А., Балбалин А. В.* Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. С. 156—163.

18. *Низина Т. А., Селяев В. П.* Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-технич. конф. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2014. С. 115—121.

© Низина Т. А., Балыков А. С., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Низина Т. А., Балыков А. С. Построение экспериментально-статистических моделей «состав — свойство» физико-механических характеристик модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 54—66.

Об авторах:

Низина Татьяна Анатольевна — д-р техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Российская Федерация, 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, 68, nizinata@yandex.ru

Балыков Артемий Сергеевич — аспирант кафедры строительных конструкций, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Российская Федерация, 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, 68, artbalrun@yandex.ru

T. A. Nizina, A. S. Balykov

FORMATION OF EXPERIMENTAL-STATISTICAL MODELS «COMPOSITION — PROPERTY» OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED FIBER-REINFORCED FINE-GRAINED CONCRETES

The article describes the methodology of formation of experimental-statistical models «modifying additives, dispersion fibers — property» for the study of physical and mechanical properties of modified fiber-reinforced fine-grained concretes. The authors enumerate the advantages of using the models of this class in comparison with analogues in the form of the Scheff'e polynomial and others. Graphic reflection of the applied polynomial system for every property was a secondary model consisting of 7 triangular Gibbs-Roseboom diagrams, created with the use of the Statistica 10.0.1011 programme and a bearing triangle fixed in 7 points with the isolines of maximums of the investigated properties.

K e y w o r d s: experimental-statistical models «modifying additives, dispersion fibers – property», plan of the experiment, coefficient of polynomial equation, triangular Gibbs-Roseboom diagram, statistical regression analysis, fiber-reinforced fine-grained concrete.

REFERENSES

1. Voznesenskii V. A., Lyashenko T. V. *ES-modeli v komp'yuternom stroitel'nom materialovedenii* [ES-models in computer construction material engineering]. Odessa, Astroprint Publ., 2006. 116 p.

2. Voznesenskii V. A., Lyashenko T. V., Ivanov Ya. P., Nikolov I. I. *EVM i optimizatsiya kompozitsionnykh materialov* [A computer and optimization of composite materials]. Kiev, Budivel'nyk Publ., 1989. 240 p.

3. Lyashenko T. V. [Areas of admissible technology solutions in complete and local fields of composite material characteristics]. *Visnik Odes. DABA.* Odessa, Misto Maistriv, 2001, iss. 5, pp. 75—80.

4. Voznesenskii V. A., Lyashenko T. V. [Methods of computer material engineering and concrete technology]. *Budivel'ni konstruktsiï: Mizhvid. nauk. tekhn. zb.* Kiev, NDIBK, 2002, iss. 56, Suchasni problemi betonu ta iogo tekhnologii. Pp. 217—226.

5. Gar′kina I. A., Danilov A. M., Korolev E. V., Smirnov V. A. [Overcoming aim uncertainty in the task of multi-objective optimization by the example of the development of ultraheavy concrete for the protection against radiation]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2006, no. 8, pp. 23—26.

6. Nizina T. A., Kislyakov P. A. [Optimization of epoxy composite properties modified by nanoparticles]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2009, no. 9, pp. 78—80.

7. Nizina T. A., Kochetkov S. N. [Optimisation of nanomodified cement binding compositions]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and engineering], 2013, no. 1, pp. 35—41.

8. Selyaev V. P., Nizina T. A., Egunova E. A. [Optimization of structures of polyurethane compositions using experimental and statistical models]. *Modelirovanie i optimizatsiya kompozitov: materialy k mezhdunarodnomu seminaru, posvyashchennomu 80-letiyu V.A. Voznesenskogo* [Modeling and optimization of composites. Proc. of the Int. workshop devoted to V. A. Voznesenskii's 80th anniversary]. Odessa, Astroprint Publ., 2014. Pp. 74—77.

9. Nalimov V. V. *Teoriya eksperimenta* [Theory of an experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 207 p.

10. Lyashenko T. V. *Optimizatsiya napolnitelei poliefirnykh svyazuyushchikh na osnove modelei novogo klassa: dis… kand. tekhn. nauk* [Optimization of fillers of polyester binding materials using new class models. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Odessa, 1984. 236 p.

11. Nalimov V. V., Chernova N. A. *Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nykh eksperimentov* [Statistical planning methods for extreme experiments]. Moscow, Nauka Publ., 1965, 340 p.

12. Voznesenskii V. A., Vyrovoi V. N., Kersh V. Ya., Lyashenko T. V. et al. *Sovremennye metody optimizatsii kompozitsionnykh materialov* [Up-to-date optimization methods for composite materials]. Kiev, Budivel'nik Publ., 1983. 144 p.

13. Koval' S. [Optimization of rheological matrix parameters of self-compacting concrete using the “mix — technology — properties” model]. *Vestnik NTU «KhPI»: Sbornik nauchnykh trudov. Tematicheskii vypusk «Khimiya, khimichna tekhnologiya ta ekologiya»* [Herald of NTU “KhPI”, set of scientific works. Special issue “ Chemistry, Chemical Engineering and Ecology"]. Kharkov, NTU “KhPI”, 2011, no. 59, pp. 86—92.

14. Goroshchenko Ya. G. *Massotsentricheskii metod izobrazheniya mnogokomponentnykh sistem* [Mass-centric method of depiction of multicomponent systems]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1982. 263 p.

15. Karpovskii E. Ya., Lyashenko T. V., Chernetskii A. A. *Povyshenie kachestva i effektivnosti issledovanii pri ispol'zovanii matematicheskoi teorii eksperimenta* [Increase of quality and efficiency of researches when using the mathematical theory of an experiment]. Kiev, “Znaniye” Society, Ukrainian SSR, 1981. 26 p.

16. Nizina T. A., Balbalin A. V. [Influence of Mineral Additives on Rheological and Strength Characteristics of Cement Composites]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* **[**Vestnik of TSUAB**],** 2012, no. 2, pp. 148—153.

17. Selyaev V. P., Nizina T. A., Balbalin A. V. [Multifunctional modifiers of concrete composites based on mineral additives and polycarboxylate plasticizers]. *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], 2013, iss. 31(50), part 2, pp. 156—163.

18. Nizina T. A., Selyaev V. P. [Material resources of an institution of higher education as an innovative resource of the development of the national research university]. *Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelii i konstruktsii: materialy Vseros. nauch.-tekhnich. konf.* [Durability of construction materials, products and structures. Proc. of the All-Russian Sc.-Tech. Conf.]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2014. Pp. 115—121.

For citation:

Nizina T. A., Balykov A. S. [Formation of experimental-statistical models «composition — property» of physical and mechanical properties of modified fiber-reinforced fine-grained 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], 2016, iss. 45(64). Pp. 54—66.

About authors:

Nizina Tat'yana Anatol'evna — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Building Structures Department, Ogarev Mordovia State University. 68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russian Federation, nizinata@yandex.ru

Balykov Artemii Sergeevich — Postgraduate student of Building Structures Department, Ogarev Mordovia State University. 68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russian Federation, artbalrun@yandex.ru

УДК 666.97

Б. Н. Середин[а], Н. А. Страхова[б], А. А. Эльмурзаев[в], Л. П. Кортовенко[а]

[а]Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
[б] Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова
[в] Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова

ПРОИЗВОДСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕРЫ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Рассмотрено производство и использование серы в создании композиционных строительных материалов, показаны перспективы их производства. Применение серы в строительной индустрии позволило бы резко увеличить спрос на серу внутри страны. Уникальные свойства серы, ее способность к быстрому набору прочности при остывании расплава и доступность определяют возможность создания технологий серных строительных материалов. К таким материалам относится серобетон, применяемый как строительный материал, работающий в агрессивных средах, используемый для систем ограждения, опор трубопроводов, канализационных труб, барьеров и тротуарных плит, пешеходных дорожек и подъездных путей, изготовления блоков и сероасфальтобетонные покрытия, обладающие повышенной (до 35...45 %) прочностью по сравнению с обычным асфальтобетоном, что позволяет уменьшить их толщину, повысить модуль упругости, устойчивость по Маршаллу, сдвигоустойчивость.

К л ю ч е в ы е с л о в а: композиционные материалы, сера, модификация, полимерная сера, серобитумное вяжущее, сероасфальтобетон, серный цемент, серобетон, стабилизатор.

В наше время сера — один из важнейших видов сырья для многих химических производств наряду с углеводородным сырьем (нефтью и газом), углем, известняком и поваренной солью, поскольку является необходимым питательным минеральным элементом для растений и источником плодородия почв.

Сера является весьма распространенным в природе химическим элементом. Мировые природные запасы серы, включая месторождения серных руд и серу, содержащуюся в углеводородах, составляют свыше 5 млрд т. Разведанные месторождения самородной серы содержат примерно 1,2 млрд т. В последние годы кроме природной серы все в большем количестве производят попутную серу, получаемую при очистке от сернистых соединений (сероводорода, меркаптанов и др.) природного и технологических газов на нефтегазоперерабатывающих заводах и др.

Основным промышленным способом извлечения серы из кислых газов, получаемых в результате очистки нефти и газа от сероводорода, несмотря на многочисленные недостатки, является процесс Клауса. Одним из перспективных и экономичных методов производства товарной серы высокой степени чистоты (99,85 %) является способ прямого окисления сероводородсодержащих газов на твердых катализаторах [1].

В 2011 году, по данным U. S. Geological Survey [2], производство серы в мире составило порядка 69 млн т. Около 63,8 % этого объема пришлось на серу, полученную при переработке нефти и природного газа, и 1,2 % — при освоении месторождений самородной серы. Еще 29 % приходится на отходящие газы цветной металлургии, коксовые газы, кислый гудрон нефтеперерабатывающих заводов и другое сырье, используемое в основном для прямого выпуска серной кислоты и только остальное — на пириты.

Крупнейшими производителями серы на глобальном рынке сегодня являются Китай (13,9 %), США (12,8 %), Канада (10,3 %) и Россия (10,3 %). На долю стран Ближнего Востока суммарно приходится 12,8 % мирового выпуска серы. Основные объемы газовой и нефтяной серы производят американские компании ExxonMobil, ConocoPhillips, Chevron и Valero Energy, британская BP, англо-голландская Shell, CITGO Petroleum (дочерняя структура Petroleos de Venezuela) и российский «Газпром». Основными импортерами серы сегодня являются Индия (6 %), Южная Америка (7 %), США (10 %), Северная и Южная Африка (24 %) и Китай (32 %) [3].

С пуском и освоением Оренбургского и Астраханского газоконденсатных месторождений в России попутная (газовая) сера стала доминирующим видом сырья. Его запасы оцениваются в 1,367 млрд т. Глубокий экономический кризис привел к стремительному сокращению внутреннего потребления серы в России, который, впрочем, компенсировался ростом спроса на глобальном рынке, что позволило стране начать масштабный экспорт. В результате выпуск серы снова начал увеличиваться — прежде всего за счет наращивания мощности Астраханского ГПЗ — и Россия превратилась в одного из крупнейших поставщиков серы на мировой рынок [4].

Около 90 % всей получаемой в мире серы сегодня перерабатывается и затем потребляется в виде серной кислоты. Приблизительно 65 % серной кислоты используется для производства фосфорных и комплексных удобрений, около 11...12 % приходится на выработку сульфата аммония и прочих серосодержащих удобрений, средств защиты от вредителей и различных химикатов. Остальное приходится на горнодобывающую промышленность (выщелачивание медных и других руд), химический комплекс (производство синтетических каучуков и резинотехнических изделий, красителей, искусственных волокон и т. д.), нефтяную отрасль (приготовление буровых растворов), алкилирование в нефтепереработке, целлюлозно-бумажную промышленность (сульфитная и сульфатная варка целлюлозы).

В 2014 году объем производства газовой серы в России составило 5,86 млн т, что составило 98,0 % от общего объема полученной серы. Объем российского экспорта серы в 2014 году повысился по сравнению с 2013 годом на 17 % и составил 4,1 млн т. Внутренние потребности России в сере составляют порядка 2,7...2,8 млн т в год.

Переработка газовой серы ведется для получения молотой серы, полимерной для шинной и резинотехнической промышленности и особо чистой для радиоэлектронной и медицинской промышленности. Основной ассортимент товарных форм газовой серы — это комовая, молотая, гранулированная и жидкая сера, объем последних двух с каждым годом возрастает за счет снижения объемов производства комовой серы, зачастую неудовлетворяющей по качеству требованиям потребителей. Производство гранулированной серы — более современный способ обработки, позволяющий повысить качество серы, уменьшить потери при ее транспортировке и перевалке, минимизировать пыление и пр.

Как отмечалось выше, основным потребителем молотой серы является сернокислотная промышленность. Коллоидная сера используется в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений, фунгицидов и гербицидов; в химическом производстве — для нужд резинотехнической и медицинской

промышленностей. Особо чистая сера (ОСЧ) является продуктом очистки газовой серы при помощи процесса Клауса. Она используется для получения рентгенолюминофоров, синтеза кристаллических сульфидов кадмия, галлия. Также ОСЧ используется в качестве исходного сырья при производстве косметических и лекарственных препаратов.

Уникальные свойства серы, способность к быстрому набору прочности при остывании расплава, доступность определяют возможность создания технологий серных строительных материалов. Однако серные строительные материалы имеют ряд недостатков: низкую термо- и огнестойкость, повышенную хрупкость, низкую стойкость в щелочных средах и подверженность воздействию анаэробных тионовых бактерий. Для устранения указанных недостатков предложено использовать модифицированную серу. Становлению и росту промышленного производства модифицированной (полимерной) серы способствовало явное преимущество ее использования для вулканизации ненасыщенных каучуков по сравнению с ромбической серой. Полимерная сера обладает рядом необычных физических свойств, например, сохраняет в течение 30 ч пластичное (вязкотекучее или высокоэластическое) состояние.

В отличие от обычной полимерная сера не выцветает на поверхности каучуков и вулканизатов, что стабилизирует свойства продукта в течение длительных сроков хранения. Известны основные способы получения полимерной серы: 1) метод быстрого охлаждения расплавов; 2) метод взаимодействия двуокиси серы с сероводородом в водной среде; 3) метод быстрого охлаждения паров серы [1]. Первый вариант наиболее экономичен, но не позволяет получать продукт с содержанием полимерной серы более 50...55 %, поэтому предусматривается стадия экстракции растворимой части. Второй метод позволяет получать высокопроцентную (80...90 %) полимерную серу при достаточно сложном аппаратурном оформлении, но он имеет перспективное направление, заключающееся в совмещении процессов сероочистки и получения полимерной серы. Основное отличие третьего метода — образование высокочистого полимерного продукта при значительных энергозатратах на получение паров серы.

В России полимерная сера в промышленных масштабах не производится.

Признанным лидером в области производства полимерной серы на мировом рынке является фирма «Кали-Хеми АКЗО». Способ производства фирма не раскрывает, и предлагает готовый продукт по достаточно высоким ценам [4]. Наибольшую активность в области создания технологии и внедрения полимерной серы проявляют также фирмы Stauffer Chem. Co. (США) и Kali-Chemie AG (Германия), которые обладают абсолютным большинством патентов и являются, по сути, единоличными держателями мирового рынка полимерной серы. Полимерную серу эти фирмы выпускают под несколькими торговыми марками, среди которых наиболее известны Manox и Krystex.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к созданию новых композиционных строительных материалов с использованием серы [5], хотя первые сведения о модификации битумов серой появились еще в 1866 г. Первые патенты относились к модификации угольных смол и природных битумов, чаще всего осерненные битумы в виде порошка использовались в качестве мягчителей. В начале XX в. стали патентовать процесс модификации серой тяжелых нефтяных остатков, а получаемые при этом продукты по сво-

им свойствам были близки к окисленным битумам. Модифицированные серой нефтяные остатки характеризовались малой чувствительностью к изменению температур и недостаточно высокой дуктильностью. В более поздних патентах описаны способы модификации битумов серой, в которых сера используется в значительно меньших количествах по сравнению с количеством битума, а процессы модификации протекают преимущественно в условиях, обеспечивающих прохождение химических реакций серы с битумом.

Известен опыт применения серы в строительстве дорожных покрытий. Так, в Канаде, США и ряде западноевропейских стран применяют асфальтбетон, приготовленном на вяжущем, в котором значительная часть битума заменена на серу. Можно отметить, что именно в Канаде были заложены основы серной строительной индустрии — современные технологии по грануляции, формованию, хранению, транспортировке, пылеподавлению, взрывобезопасности серы и др.

Строительство автомобильных дорог с использованием серобитумного вяжущего в Канаде ведется с 1970 г., и как показала практика, участки находятся в течение длительного времени в хорошем состоянии, поэтому объем строительства дорог с использованием серобитумного вяжущего с каждым годом расширяется. В США в 30 штатах при устройстве автомобильных дорог применяется сера. Построены участки дорог в Техасе, Луизиане, Мичигане и др. Как показал зарубежный опыт применения серы в дорожном покрытии, асфальтобетонные смеси характеризуются повышенной текучестью, хорошей обрабатываемостью.

Влияние серы на структурообразование битумов рассмотрено в работах [6—13]. Известно, что тонко размолотая сера может улучшать поверхностно-активные свойства нефти и нефтепродуктов, чем и объясняется активное участие серы в создании новой структуры нефтяных остатков и битумов. Смешение элементной серы с ТНО даже при невысоких температурах приводит к значительному изменению кристаллоподобной структуры асфальтовых ассоциатов и кристаллов нормальных парафинов. По мнению авторов [12, 13] при температурах 120...140 °С присутствие серы не сказывается на химическом строении вяжущего. Однако при 180...200 °С происходят реакции дегидрирования, полимеризации и др. При добавлении серы в количестве более 20,0 % образуется коллоидная система, дисперсной фазой которой является сера. При этом размеры частиц дисперсной фазы зависят от вида вяжущего и технологии смешения.

Сера содержится в битумах в трех видах: химически связанной, растворенной и диспергированной. В зависимости от условий смешения сера может образовывать в битуме полисульфиды, сульфоны и тиофены. Растворяется сера в битуме в количестве, зависящем главным образом от типа битума и температуры нагрева. Избыток серы в битумно-серной смеси характеризуется образованием мелких частиц в виде кристаллов серы.

По данным исследований автор [7] утверждает, что влияние серы на свойства и структуру битумов определяется его структурным типом. Так, в битумах I типа, имеющего коагуляционную структуру, введение серы до 10 % способствует увеличению глубины проникания и снижению температуры размягчения. Дальнейшее увеличение количества добавляемой серы не вызывает существенных изменений свойств битумов. Растяжимость практи-

чески не зависит от введения серы и ее количества. Отмечено, что при смешении битумов с серой при 140 °С количество асфальтенов не изменяется. Совмещение серы с битумом при 200 °С приводит к снижению глубины проникания и увеличению температуры размягчения. Таким образом, в битумах I типа при 140 °С сера вызывает пластификацию, а при 200 °С — структурообразующий эффект.

В битумах II типа при 140 °С сера также является пластификатором, а при увеличении температуры до 200 °С отмечается резкое структурообразование битумов. Существуют различия для битумов II типа, полученных по разным технологиям: у окисленного битума введение серы до 200 °С вызывает более резкое изменение свойств, чем у компаундированного. Таким образом, можно отметить, что в зависимости от природы ТНО, структурного типа битума сера вызывает пластифицирующий или структурообразующий эффект.

Прочность связи сераорганических соединений с поверхностью минерального материала зависит как от функциональных особенностей атома серы, так и от строения углеводородного скелета молекулы. По данным [13], энергия взаимодействия сераорганических вяжущих с поверхностными гидроксильными группами кремнезема близка к энергии образования водородной связи (8...18 кДж/моль). В асфальтобетоне, содержащем серу, образуется своеобразная структура, где сера выполняет роль мелких наполнителей и в то же время связывает минеральные частицы в крупные зерна [6]. Битум, введенный в битумоминеральную смесь вместе с серой, обволакивает минеральные частицы и крупные зерна и играет роль вязкоупругого вяжущего, придающего асфальтобетону прочность, гибкость и повышенную усталостную прочность. Исследования серобитумных вяжущих, асфальтобетонов с добавкой серы и серосодержащих отходов при строительстве дорог в России нашли отражение в работах [8, 9, 14].

Ограничением для широкого внедрения серы как дешевой и эффективной добавки для осерненных битумов является образование сероводорода, концентрация которого зависит от ее содержания в исходном сырье и температурного режима процесса.

Взаимодействие серы с минеральным наполнителем обусловлено действием адсорбционных, электрических, хемосорбционных и механических сил адгезии. Совокупность различных типов адгезии значительно улучшает структуру и механические свойства получаемого композиционного материала. Сероасфальтобетонные покрытия обладают повышенной (до 35...45 %) прочностью по сравнению с обычным асфальтобетоном, что позволяет уменьшить их толщину. При этом значительно повышается модуль упругости покрытия (с 2100 до 4300 МПа). В работах [8, 15] также отмечается, что добавка серы к асфальтобетону приводит к повышению его прочности, устойчивости по Маршаллу, сдвигоустойчивости и некоторому снижению деформативности. Однако в литературе встречаются и противоречивые данные по качеству серных асфальтобетонов, что можно объяснить как многообразием химической природы минеральных материалов и битумов, так и различием гранулометрического состава и др.

Широкому внедрению серных битумов в России препятствует отсутствие многолетних наблюдений за дорожными покрытиями, отечественной нормативной базы, а также производства в промышленных масштабах модифицированной и полимерной серы.

Имеется достаточный мировой опыт изготовления и применения серных бетонов. В состав серных бетонов входят серный цемент и минеральные наполнители. Свойства серного материала во многом зависят от его состава. Каждый компонент, входящий в его состав, оказывает значительное влияние как на реологические свойства бетонной смеси, так и на физико-механические и эксплуатационные свойства затвердевшего материала. Поэтому влияние каждого компонента учитывают не только на стадии приготовления, но и на стадии проектирования материала. Требования, предъявляемые к сере при изготовлении серного бетона, в основном связаны с экологической безопасностью. Хотя чистая сера не является экологически опасным продуктом, однако при взаимодействии с окружающей средой она может образовывать вредные химические соединения или выделять растворенные в ней газы, прежде всего сероводород. Одним из важных компонентов серного цемента является модификатор (стабилизатор), обеспечивающий сохранение свойств бетона в течение длительного времени. Основная роль модификатора сводится к стабилизации структуры серы и предотвращению роста ее кристаллов.

В качестве стабилизаторов модифицированной (сополимерной) серы запатентованы самые разные классы органических соединений и их комбинации. Предложены различные области применения серных бетонов, в том числе для изготовления модифицированного серного вяжущего, предназначенного для капсуляции радиоактивных и высокотоксичных отходов, а также для изготовления материала, стойкого в растворах плавиковой кислоты [14].

В качестве модифицирующих добавок используют различные химические добавки: нафталин, парафин, дициклопентадиен, олефины, пиролизную смолу и др., существенным недостатком последних является высокая токсичность. В связи этим основной научно-технической задачей при разработке серных композиционных материалов является установление взаимосвязи состава, технологии, структуры и свойств материала [14, 15].

В России запущена опытно-промышленная установка польско-российской компании ЗАО «ИНТЕРТЕХСЕРА», работающая по технологии СУЛЬСТАР (патент № 2220095), для модификации серы производительностью 5 тыс. т/г. полимерной серы. Данная технология показала широкие возможности по вовлечению в процесс получения серобетона и сероасфальтобетона промышленных отходов и вторичного сырья, отсортированного из отходов [16].

Серобетоны применяются при производстве ограждений, опор трубопроводов, канализационных труб, барьеров и тротуарных плит. Разработаны специальные добавки, благодаря которым серобетон стал малочувствительным к тепловым и механическим ударам. Применяют серобетоны в агрессивных средах. Широко используются они и на строительстве одноэтажных домов, бытовых помещений, сборных конструкций. В Канаде фирмами Sulphur Irnovation Ltd (SIL), H.P. Sulfur concrete и другими налажен выпуск в промышленных масштабах серного бетона для сборных и монолитных конструкций. Серные строительные материалы успешно применяются и в странах Ближнего Востока, Мексике, США, Венесуэле и других. Серобетоны широко используются в Объединенных Арабских Эмиратах. Блоки из таких бетонов используют в качестве пешеходных дорожек и подъездных путей, из них сооружают пристройки к зданиям.

Реализация в России зарубежного опыта применения серы в строительной индустрии могла бы резко увеличить спрос на серу внутри страны.

Вывод. В связи с проблемами плохих дорог и дефицитом строительных материалов является актуальным создание новых композиционных материалов для строительства с использованием серы, для чего потребуется проведение научно-исследовательских работ, разработка отечественной нормативной базы, а также отладка производства в промышленных масштабах модифицированной и полимерной серы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Эльмурзаев А. А.* Разработка методов улавливания аэрозольной серы и усовершенствование технологии прямого окисления сероводородов на твердых катализаторах: дис... канд. техн. наук. Астрахань, 2006. 154 с.

2. Мировой рынок серы. URL: http://www.webeconomy.ru

3. *Фомичев В. И.* Международная торговля: учебник. М.: ИНФРА-М, 2001. 446 с.

4. *Мотин Н. В.* Обзор мирового и российского рынков серы. Возможные направления реализации серы, производимой в России: материалы семинара по проблемам производства и реализации серы. ВНИИГАЗ, 2006. С. 65—76.

5. *Волгушев А. Н.* Новое поколение бесцементных бетонов на основе термопластичного серного вяжущего // Строительная наука. URL: http://www.stroinauka.ru

6. *Веренько В. А.* Влияние элементной серы на свойства органических вяжущих и бетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1985. № 4. С. 62—66.

7. *Гурарий Е. М.* Влияние серы на структурообразование в битумах // Труды Союздорнии. Вып. 44. М., 1971. С. 137—145.

8. *Степанян М. В.* Использование серы как компонента асфальтобетона: автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1988. 19 с.

9. *Страхова Н. А., Гераськин В. И., Кортовенко Л. П.* Серобитумные компаунды // Газовая промышленность. 2000. № 11. С. 68.

10. *Середин Б. Н., Кортовенко Л. П., Страхова Н. А.* Серные композиционные материалы: материалы Первого Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников «Потенциал интеллектуально одаренной молодежи — развитию Каспия», 21—26 мая 2012. Астрахань, 2012. С. 56—57.

11. *Евдокимова Н. Г.* Модифицирование нефтяных битумов добавками // Нефтепереработка и нефтехимия: сб. науч. тр. Уфа: ИП НХП, 2001. Вып. 33. С. 68—71.

12. Об использовании элементарной серы в производстве дорожных битумов / Ю. А. Кутьин, Э. Г. Теляшев, Р. Р. Везиров, Г. Н. Викторова // Нефтепереработка и нефтехимия: сб. науч. тр. Уфа: ИП НХП, 2001. Вып. 33. С. 40—42.

13. Получение компаундированных битумов улучшенного качества / А. Ю. Пустынников, В. Г. Рябов, Д. Т. Калимуллин, А. Н. Нечаев, Я. А. Тресков // Химия и технология топлив и масел. 2006. № 3 С. 55—57.

14. *Королев Е. В.* Серные композиционные материалы специального назначения: дис… д-ра техн. наук. Пенза, 2005. 524 с.

15. *Волгушев А. Н.* Применение серы в строительстве // Аналитический портал химической промышленности Newchemistry.ru. URL: http://www. newchemistry.ru

16. Технология производства серного полимера СУЛЬСТАР. URL: http://www.slavutich-media.ru/catalog/ beton

© Середин Б. Н., Страхова Н. А., Эльмурзаев А. А., Кортовенко Л. П., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Производство и использование модифицированной серы в композиционных материалах / Б. Н. Середин, Н. А. Страхова, А. А. Эльмурзаев, Л. П. Кортовенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 67—75.

Об авторах:

Середин Борис Николаевич — аспирант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, bnseredin@mail.ru

Страхова Нина Андреевна — д-р техн. наук, профессор, Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. Российская Федерация, 353918, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93, strakhova_na@mail.ru

Эльмурзаев Аюб Абдулаевич — канд. техн. наук, доцент, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М. Д. Миллионщикова. Российская Федерация, 364051, г. Грозный, пр-т им. Х. А. Исаева, 100, ayub_777@mail.ru

Кортовенко Любовь Павловна — канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, astra_kortovenko@mail.ru

B. N. Seredin, N. A. Strakhova, A. A. El'murzaev, L. P. Kortovenko

PRODUCTION AND USE OF MODIFIED SULPHUR IN COMPOSITE MATERIALS

The article is devoted to the production and use of sulphur in the formation of composite construction materials. The prospects of their production are shown. The use of sulphur in construction industry would allow to increase sharply the demand on sulphur domestically. Unique properties of sulphur, its ability to quick strength gain under the decrease of temperature melt and its accessibility determine the possibility to create technologies of sulphur construction materials. Among such materials is sulphur concrete, applicable as the construction material working in aggressive environment, used in fence systems, pipe support, sewage pipes, barrier and walkway slab, pedestrian footpaths and access ways, for fabrication of blocks and sulphur asphalt concrete covering possessing high (up to 35—45%) toughness in contrast with usual asphalt concrete, that allows to reduce their thickness, increase elasticity modulus, the Marshall stability, and shifting stability.

K e y w o r d s: composite materials, sulphur, modification, polymeric sulphur, sulphur bitumen viscous, sulphur asphalt concrete, sulphur cement, sulphur concrete, stabilizer.

REFERENSES

1. El'murzaev A. A. *Razrabotka metodov ulavlivaniya aerozol'noi sery i usovershenstvovanie tekhnologii pryamogo okisleniya serovodorodov na tverdykh katalizatorakh: dis... kand. tekhn. nauk* [The development of methods of sulfate aerosol trapping and improvement of the technology of direct oxidation of sulphureted hydrogen on solid catalysts. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Astrakhan, 2006. 154 p.

2. *Mirovoi rynok sery* [World sulfur market]. URL: http://www.webeconomy.ru

3. Fomichev V. I. *Mezhdunarodnaya torgovlya: uchebnik* [International trade: manual]. Moscow, INFRA-M, 2001. 446 p.

4. Motin N. V. *Obzor mirovogo i rossiiskogo rynkov sery. Vozmozhnye napravleniya realizatsii sery, proizvodimoi v Rossii: materialy seminara po problemam proizvodstva i realizatsii sery* [Review of the world and Russian sulfur markets. Possible ways of sale of sulfur produced in Russia. Proc. of the panel on the problems of sulfur production and sale]. VNIIGAZ, 2006. Pp. 65—76.

5. Volgushev A. N. [New generation of cement-free concrete on the basis of thermoplastic sulphur binder]. *Stroitel'naya nauka* [Construction science]. URL: http://www.stroinauka.ru

6. Veren’ko V. A. [Influence of element sulfur on properties of organic binders and concrete]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of Institutions of Higher Education. Construction and Architecture], 1985, no. 4, pp. 62—66.

7. Gurarii E. M. [Influence of sulfur on structure formation in bitumen]. *Trudy Soyuzdornii* [Works of Soyuzdor R&DI], iss. 44. Moscow, 1971. Pp. 137—145.

8. Stepanyan M. V. *Ispol'zovanie sery kak komponenta asfal'tobetona: avtoref. dis... kand. tekhn. nauk* [Use of sulfur as the component of asphalt concrete. Diss. Cand. Eng. Sci.]. Moscow, 1988. 19 p.

9. Strakhova N. A., Geras’kin V. I., Kortovenko L. P. [Sulphur bitumen compounds]. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry], 2000, no. 11, p. 68.

10. Seredin B. N., Kortovenko L. P., Strakhova N. A. *Sernye kompozitsionnye materialy: materialy Pervogo Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, studentov i shkol'nikov «Potentsial intellektual'no odarennoi molodezhi — razvitiyu Kaspiya», 21—26 maya 2012* [Sulphur composite materials. Proc. of the First Int. Scientific Forum of Young Scientists, Students and Pupils "Potential of Intellectually Gifted Youth — for the development of the Caspian Sea", May 21—26, 2012]. Astrakhan, 2012. Pp. 56—57.

11. Evdokimova N. G. [Modification of oil bitumen by additives]. *Neftepererabotka i neftekhimiya: sb. nauch. tr.* [Oil refining and petroleum chemistry. Set of scientific works]. Ufa, IP NHP, 2001, iss. 33, pp. 68—71.

12. Kut'in Yu. A., Telyashev E. G., Vezirov R. R., Viktorova G. N. [On the use of elemental sulfur in the production of paving bitumen]. *Neftepererabotka i neftekhimiya: sb. nauch. tr.* [Oil refining and petroleum chemistry. Set of scientific works]. Ufa, IP NHP, 2001, iss. 33, pp. 40—42.

13. Pustynnikov A. Yu., Ryabov V. G., Kalimullin D. T., Nechaev A. N., Treskov Ya. A. [Production of the compounded bitumen of the improved quality]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel* [Chemistry and fuel and oil engineering], 2006, no. 3, pp. 55—57.

14. Korolev E. V. *Sernye kompozitsionnye materialy spetsial'nogo naznacheniya: dis… d-ra tekhn. nauk* [Sulphur composite materials of a special purpose. Diss. Dr. Eng. Sc.]. Penza, 2005. 524 p.

15. Volgushev A. N. [Use of sulfur in construction]. *Analiticheskii portal khimicheskoi promyshlennosti Newchemistry.ru* [Analytical portal of chemical industry Newchemistry.ru]. URL: http://www. newchemistry.ru

16. *Tekhnologiya proizvodstva sernogo polimera SUL'STAR* [Technology of SULSTAR sulphur polymer production]. URL: http://www.slavutich-media.ru/catalog/ beton

For citation:

Seredin B. N., Strakhova N. A., El'murzaev A. A., Kortovenko L. P. [Production and use of modified sulphur in composite 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], 2016, iss. 45(64). Pp. 67—75.

About authors:

Seredin Boris Nikolaevich — Postgraduate student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 18, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, bnseredin@mail.ru

Strakhova Nina Andreevna — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Admiral Ushakov State Maritime University. Lenin's Avenue, 93, Novorossisk, 353918, Russian Federation, strakhova_na@mail.ru

El'murzaev Ayub Abdulaevich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Grozny State Oil Technical University named after M. D. Millionshchikov. 100, Kh. A. Isaeva Prospect, Grozny, 364051, Russian Federation, ayub_777@mail.ru

Kortovenko Lyubov' Pavlovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. 18, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, astra_kortovenko@mail.ru

УДК 62-82:69.002.5

О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Н. А. Фоменко

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Предлагаются запатентованные авторами новые конструкции гидромеханического способа защиты гидропривода строительно-дорожных машин от несанкционированного выброса рабочей жидкости при разрушении рукавов высокого давления.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гидропривод, гидравлическая система, рукав высокого давления, защита гидропривода, запорное устройство.

Исследования показывают [1], что гидросистема строительно-дорожных машин работает в условиях значительных колебаний циклических нагрузок в широком диапазоне наружной температуры (от –50 до +60 °С) при влажности окружающего воздуха от 5 до 100 %. При этом существенно меняется и внутренняя температура рабочей жидкости от 30 до 60 °С. Все это приводит к ухудшению свойств материала, из которого изготовлены агрегаты гидросистемы, и снижает надежность всей конструкции. Дальнейшее увеличение мощности гидропривода за счет повышения рабочего давления нередко приводит к разрушению рукавов высокого давления и несанкционированному выбросу рабочей жидкости в атмосферу (46…335 л за один выброс).

Выброс в атмосферу такого количества рабочей жидкости (минерального масла — нефтепродуктов) наносит значительный ущерб экологической безопасности (фауне, флоре) [2—9], приводит к невосполнимым материальным потерям биоресурсов и др.

Надежность гидросистемы современных тягово-транспортных средств во многом определяется совершенством конструкции гибких рукавов высокого давления. Однако гибкие рукава высокого давления не выдерживают длительных циклических нагрузок при номинальном давлении в гидросистеме за границей третьего исполнения (18…20 МПа).

Нами предлагаются новые технические решения — защита гибких рукавов высокого давления [10—12] путем введения защитной оболочки, заполненной газом, которая снижает циклические нагрузки, повышает ресурс рукава и способствует транспортировки на слив в гидробак рабочей жидкости при разрушении рукава. На рис. 1 показана конструкция рукава высокого давления. Система защиты гидропривода представлена на (рис. 2—7).

В сливной штуцер (рис. 2) защитного устройства гидропривода установлен шариковый редукционный клапан, который позволяет поддерживать при сливе необходимое постоянное давление во входной полости и исключает процесс колебания плунжера при разрыве напорных рукавов и, как следствие, повышает быстродействие запорного устройства. Запорное устройство дополнительно снабжено фиксатором, который позволяет дополнительно исключить колебания плунжера путем блокировки его после перекрытия канала. Вместо конического клапана, перекрывающего осевой канал, установлен подпружиненный плунжер с глухим осевым каналом и радиальными отверстиями. В упоре дополнительно

выполнен канал, сообщающий выходную полость с глухой полостью, при этом глухая полость сообщается с каналом выходного штуцера и напорной гидролинией, снабженной запорным вентилем. На рис. 3 представлено запорное устройство, оснащеное компенсатором, поглощающим энергию ударной волны гидравлического удара, выполненным в виде камеры, образованной двумя эластичными мембранами, одна из которых неподвижно соединена со штоком подпружиненного плунжерного клапана, а другая соединена с двух сторон предохранительными пластинами, при этом камера снабжена нагнетательным ниппелем для заполнения ее газом, установленном на кольце, размещенном внутри камеры. Использование в системе защиты гидропривода компенсатора способствует поглощению части энергии ударной волны при деформации упругого элемента, в качестве которого используется газовая среда, например воздух или инертный газ, обладающая более высокой сжимаемостью, чем рабочая жидкость гидравлической системы, что позволяет снизить ударные нагрузки на седло выходного отверстия плунжера и подпружиненного подвижного плунжера со штоком и уменьшить износ их контактной поверхности, тем самым повышая надежность, эксплуатационные свойства и эффективность защиты гидропривода. Кроме того, снижается колебательный процесс плунжера и обеспечивается быстродействие перекрытия поврежденной гидролинии.

В конструкции (рис. 4) при срабатывании запорного устройства плунжер *16* перемещает подпружиненный упругим элементом *23* стержень *24* на величину *h*, равную зазору между контактной парой *25* и торцем стержня *24*, замыкает контакт *25*, включает реле электрической цепи *8* системы контроля срабатывания запорного устройства. В результате срабатывает световая и звуковая сигнализации, оповещая оператора о срабатывании системы защиты устройства от несанкционированного выброса рабочей жидкости в атмосферу, и автоматически, с помощью соленоида механизма *9*, отключает подачу рабочей жидкости в поврежденную гидролинию и направляет ее в гидробак *1*.

На рис. 5 запорное устройство дополнительно снабжено штоком с осевым сквозным каналом и на одном конце штока выполнены упорный бурт и наружная резьба, которыми шток одним концом жестко закреплен в упоре посредством гайки, а другим концом размещен в осевом канале плунжера с возможностью перемещения плунжера по штоку, кроме этого в осевом сквозном канале штока выполнены радиальные отверстия, кромки которых, обращенные к торцу бурта, отстоят от него на расстояние *s*, на которое поверхностью осевого канала плунжера перекрываются радиальные отверстия штока, что позволит плунжеру при разрыве напорных рукавов, при котором из-за возросшего потока рабочей жидкости создается значительный перепад давления между выходной и входной полостями, в своем движении по штоку к упору усилием от перепада давления перекрыть поверхностью осевого канала радиальные отверстия в штоке. Значительное перекрытие радиальных отверстий штока поверхностью осевого канала плунжера, равное длине осевого канала от кромок радиальных отверстий до торца бурта штока, при котором исключается просачивание рабочей жидкости в выходную полость *B* корпуса запорного устройства через зазор между штоком и осевым каналом ввиду большого гидравлического сопротивления в зазоре позволяет обеспечить высокую надежность перекрытия подачи рабочей жидкости в напорные рукава при их разрушении и эффективную защиту гидропривода от несанкционированного выброса рабочей жидкости.

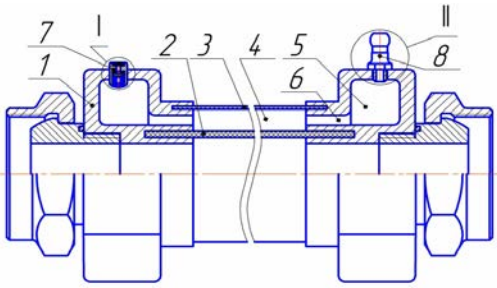


Рис. 1. Трубопровод высокого давления: *1* — наконечник; *2* — силовой рукав; *3* — оболочка; *4* — полость; *5*— камера; *6* — кольцевой канал; *7* — редукционный клапан; *8* — обратный клапан

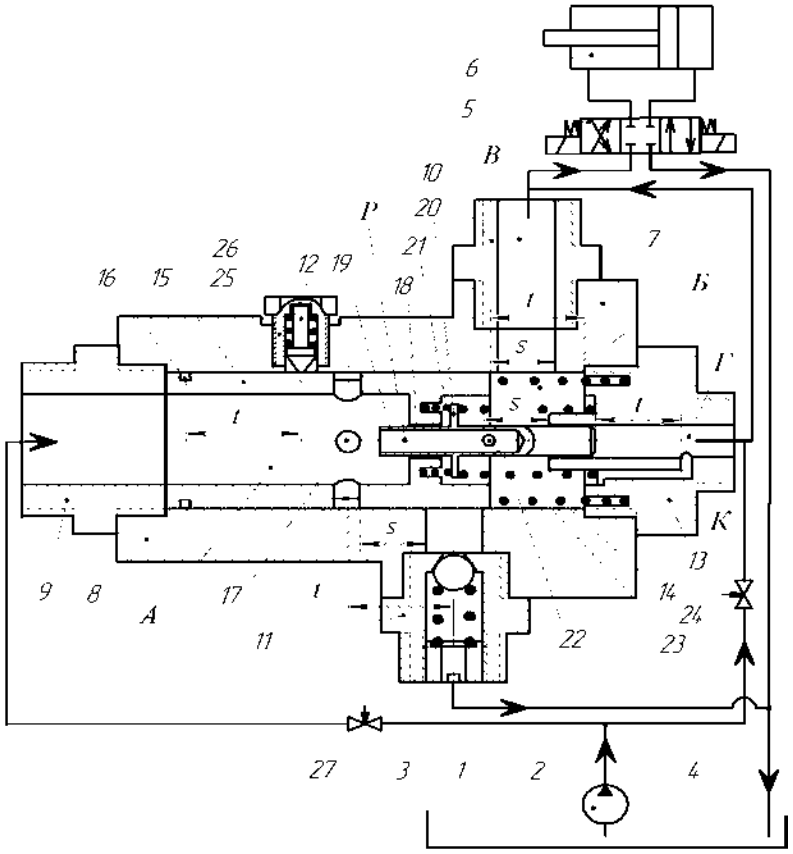


Рис. 2. Система защиты гидропривода: *1* — гидробак; *2* — насос; *3* — напорная гидролиния; *4* — сливная гидролиния; *5* — распределитель; *6* — гидропривод ; *7* — запорное устройство; *8* — корпус: *9* — штуцер; *10, 11* — штуцер; *12* — фиксатор; *13* — упор; *14, 15* — пружина; *16* — кольцевая проточка; *17* — радиальное отверстие; *18* — канал; *19* — плунжер; *20* — упор; *21* — пружина; *22* — пружина; *23* — радиальное отверстие; *24* — вентиль; *25* — пробка; *26* — стержень; *27* — вентиль

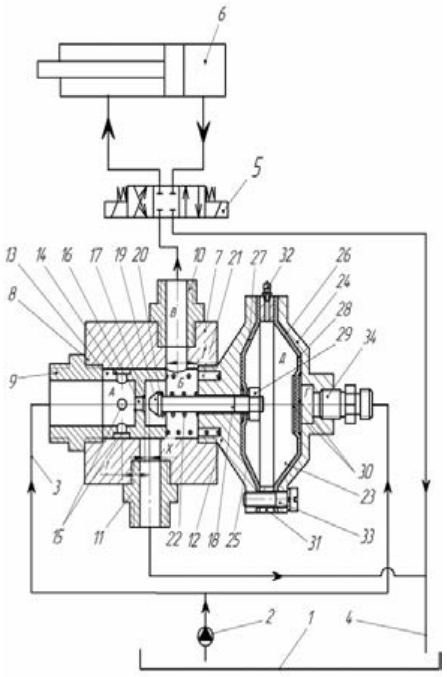


Рис. 3. Гидропневматическая система защиты гидропривода: *1* — гидробак; *2* — насос; *3* — напорная гидролиния; *4* — сливная гидролиния; *5* — распределитель; *6* — гидропривод; *7* — запорное устройство; *8* — корпус: *9* — штуцер; *10, 11* — штуцер; *12* — упор; *13* — плунжер; *14* — проточка; *15* — радиальное отверстие; *16* — отверстие; *17* — фаска; *18* — плунжер; *19* — конус; *20* — буртик; *21* — пружина; *22* — пружина; *23* — камера; *24* — крышка; *25, 26* — полусфера; *27, 28* — мембрана; *29* — резьбовое соединение; *30* — пластина; *31* — кольцо; *32* — ниппель; *33* — винт; *34* — штуцер

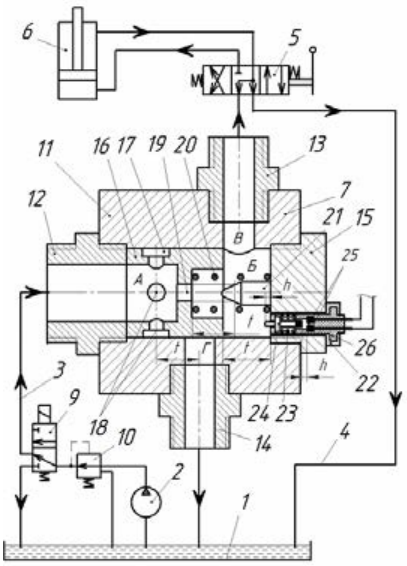


Рис. 4. Электрогидравлическая система защиты гидропривода: *1* — гидробак; *2* — насос; *3* — напорная гидролиния; *4* — сливная гидролиния; *5* — распределитель; *6* — гидропривод; 7 — запорное устройство; 8 — система контроля; *9* — механизм отключения; *10* — редукционный клапан; *11* — корпус; *12, 13* — штуцер; *14* — штуцер; *15* — пробка; *16* — плунжер; *17* — проточка; *18* — радиальное отверстие; *19* — осевой канал; *20* — пружина; *21* — упор; *22* — корпус; *23* — пружина; *24* — стержень: *25* — контактная пара; *26* — диэлектрик

Сущность технического решения (рис. 6) заключается в том, что в запорном устройстве системы защиты гидропривода установлен разгрузочный клапан, включающий корпус, совмещенный со сливным штуцером, выполненный в виде полого цилиндра, по наружной поверхности которого нанесена резьба, посредством которой разгрузочный клапан монтируется в упоре запорного устройства. При этом цилиндрическая полость разгрузочного клапана сообщается с выходной полостью корпуса запорного устройства посредством канала. Кроме этого, внутри цилиндрической полости разгрузочного клапана размещен подпружиненный поршень, снабженный уплотнительным кольцом, что позволяет исключить колебательный процесс плунжера, возникающий при неполном перекрытии им выходной полости запорного устройства из-за препятствия несжимаемого объема жидкости (гидравлической «подушки»), заключенной между торцами плунжера. При этом, сжимая пружину разгрузочного клапана, перемещается поршень, обеспечивая полный ход плунжера запорного

устройства $h + t$, равный сумме проходного сечения h канала B выходного штуцера и расстояния t от кромки перекрытия до торца упора, и надежное перекрытие канала выходного штуцера, что существенно повышает быстродействие срабатывания защиты, тем самым повышая надежность, эксплуатационные свойства и эффективность защиты гидропривода. Кроме того, снижается колебательный процесс плунжера и обеспечивается быстродействие перекрытия поврежденной гидролинии.

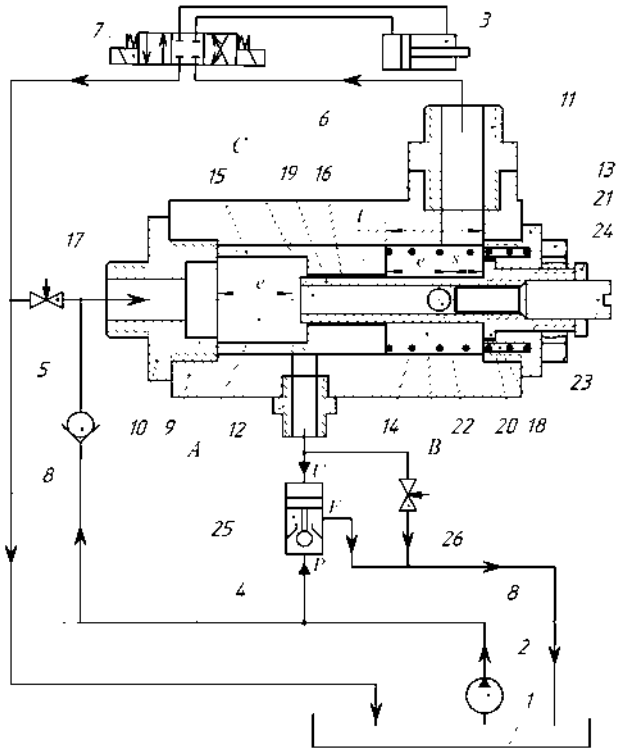


Рис. 5. Плунжерное запорное устройство системы защиты гидропривода: *1* — гидробак; *2* — насос; *3* — гидропривод; *4* — напорная гидролиния; *5* — обратный клапан; *6* — запорное стройство ; *7* — распределитель; *8* — сливная гидролиния: *9* — корпус; *10* — штуцер; *11* — штуцер; *12* — штуцер; *13* — упор; *14* — пружина; *15* — плунжер; *16* — осевой канал; *17* — запорный вентиль; *18* — гнездо; *19* — шток; *20* — буртик; *21* — гайка; *22* — радиальное отверстие; *23* — регулировочный винт; *24* — контргайка; *25* — гидрозамок; *26* — вентиль

Особенность конструкции (рис. 7) заключается в том, что установленное на напорной гидролинии запорное устройство выполнено в виде гидроуправляемого трехлинейного двухпозиционного гидрораспределителя и регулируемого дросселя в совокупности с датчиком перепада давления, состоящим из корпуса с крышкой, между которыми посредством винтового крепления зажата эластичная диафрагма, разделяющая внутренний объем датчика перепада давления на плюсовую камеру, подключенную через канал с штуцером в корпусе к напорной гидролинии до регулируемого дросселя, и минусовую камеру, подключенную через канал с штуцером в крышке к напорной гидролинии после регулируемого дросселя. Это позволяет определить перепад давления на

регулируемом дросселе, установленном на напорной гидролинии, соответствующий истинному состоянию гидропривода при разрыве напорных рукавов питания исполнительного органа. Перепад давления на регулируемом дросселе, соответствующий разрыву рукавов питания исполнительного органа, служит гидравлическим управляющим сигналом для запорного устройства, которое мгновенно перекрывает напорную гидролинию.

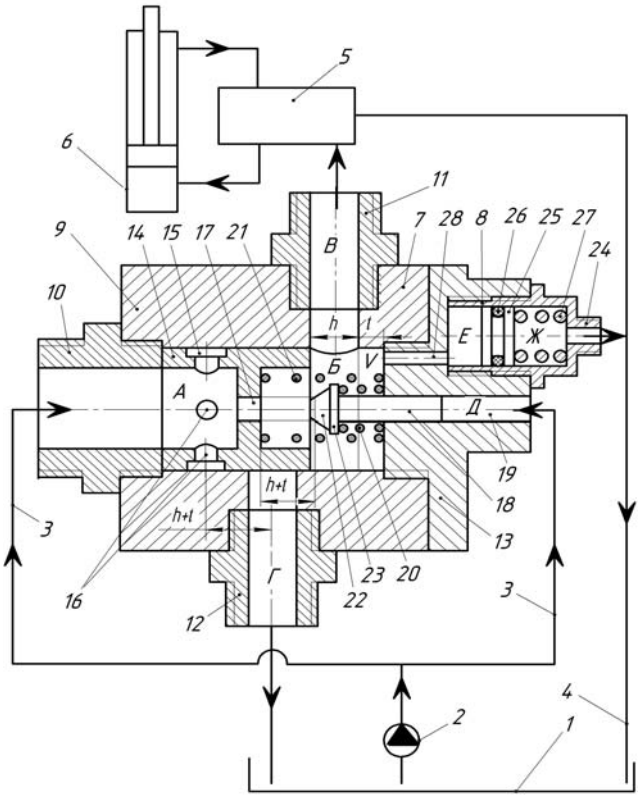
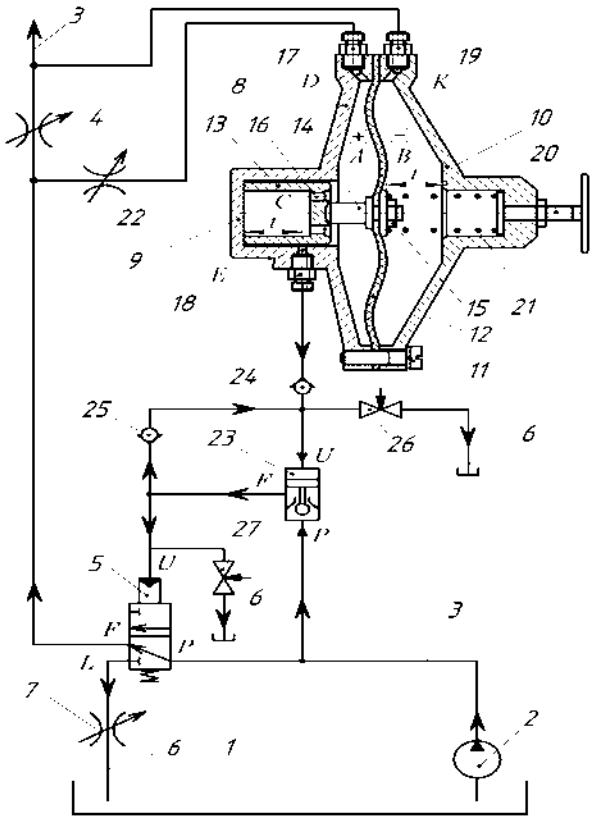


Рис. 6. Разгрузочный клапан запорного устройства системы защиты гидропривода: *1* — гидробак; *2* — насос; *3* — напорная гидролиния; *4* — сливная гидролиния; *5* — распределитель; *6* — гидродвигатель; *7* — запорное устройство; *8* — разгрузочный клапан; *9* — корпус; *10*, *11*, *12* — штуцеры; *13* — упор; *14* — плунжер; *15* — проточка; *16* — радиальное отверстие *17* — осевой канал; *18* — плунжер; *19* — сквозное отверстие; *20*, *21* — пружина; *22* — корпус; *23* — буртик; *24* — штуцер; *25* — поршень; *26* — кольцо; *27* — пружина; *28* — канал

Таким образом, предложенная в системе защиты гидропривода (рис. 7) достаточно точная настройка порога срабатывания датчика перепада давления, то есть его чувствительность к перепаду давления на регулируемом дросселе, установленном на напорной гидролинии, и схема стабилизации управляющего сигнала позволят обеспечить высокую универсальность гидропривода и его системы защиты, исключить ложные срабатывания его системы защиты, повысить эксплуатационную надежность, экологическую безопасность и в целом эффективность работы гидропривода и его системы защиты от несанкционированного выброса рабочей жидкости из гидросистемы.



Фиг.

Рис. 7. Разгрузочный клапан запорного устройства системы защиты гидропривода: *1* — гидробак; *2* — насос; *3* — напорная гидролиния; *4* — дроссель; *5* — распределитель; *6* — сливная гидролиния; *7* — дроссель; *8* — датчик; *9* — корпус; *10* — крышка; *11* — резьбовое крепление; *12* — диафрагма; *13* — плунжер; *14* — шток; *15* — резьбовое крепление; *16* — канал; *17* — штуцер; *18* — контргайка; *19* — штуцер; *20* — регулировочный винт; *21* — пружина; *22* — дроссель; *23* — гидрозамок; *24* — клапан; *25* — клапан; *26* — вентиль; *27* — вентиль

Анализ разработанных нами конструкций (рис. 1—7) средств защиты гидропривода строительно-дорожных машин показывает, что с учетом многочисленных факторов, влияющих на работу гидропривода (номинальное давление в гидросистеме, внешняя и внутренняя температура окружающей среды и рабочей жидкости соответственно, физикохимические свойства рабочей жидкости (вязкость, пенообразование и др.), циклические, знакопеременные нагрузки на рабочие органы машин и гидропривода) предложены реальные технические решения в виде запатентованных в ФИПСе Федеральной службы по интеллектуальной собственности конструкций.

Конструкция рукава высокого давления (см. рис. 1) позволяет одновременно снизить нормальные радиальные и окружные напряжения в стенке силового рукава и сгладить амплитуды их пульсации, обеспечить гибкость, надежность и возможность при разрыве силового рукава слива несанкционированного выброса рабочей жидкости из полости, образованной между рукавом

и оболочкой, в гидробак. Однако, на наш взгляд, наиболее эффективным способом защиты атмосферы от загрязнения являются технические решения, представленные на рис. 2—7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменко Н. А.* Совершенствование эксплуатационных свойств гидравлических систем машинно-тракторных агрегатов: дис… канд. техн. наук. Волгоград, 2002. 166 с.

2. *Фоменко Н. А., Богданов В. И., Алексиков С. В.* Ресурсосберегающая гидравлическая система строительной техники: сб. науч. тр. по материалам Международной науч.-практ. конф. Саратов, 2014. С. 221—224.

3. *Сердобинцев Ю. П., Бурлаченко О. В., Схиртладзе А. А.* Повышение качества функционирования технологического оборудования: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2010. 411 с.

4. Снижение энергии гидравлического удара в запорном устройстве гидросистемы строительно-дорожной техники / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Н. В. Сапожкова // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2015. Вып. 1(37). Ст. 3. URL: http://www.vestnik.vgasu.ru

5. *Фоменко Н. А., Богданов В. И., Сапожкова Н. В.* Пути совершенствования гидропривода тягово-транспортных средств // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 218—222.

6. Совершенствование гидравлической системы строительной техники / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Н. В. Сапожкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 38(57). С. 120—124.

7. Система защиты гидропривода строительно-дорожных машин / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 40(59). С. 219—229.

8. Повышение надежности запорного устройства системы защиты гидропривода строительно-дорожных машин / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 169—180.

9. Разгрузочный клапан системы защиты гидропривода машин / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 42(61). С. 163—173.

10. *Фоменко Н. А., Богданов В. И., Фоменко В. Н.* Трубопровод высокого давления: пат. RU 2511926 C2 Рос. Федерация МПК F 15 B 20/00 (2006.01).

11. *Фоменко Н. А., Богданов В. И., Бурлаченко О. В.* Система защиты гидропривода: заявка на патент 2014121185; Рос. Федерация.

12. *Фоменко Н.А., Богданов В.И., Бурлаченко О.В., Алексиков С. В.* Система защиты гидропривода. Заявка на изобретение № 2014133230 от 12. 08.2014.

13. Трубопровод гидросистемы строительно-дорожных машин / Н. А. Фоменко, С. В. Алексиков, В. И. Богданов, Н. В. Сапожкова // Вестник развития науки и образования. 2014. Вып. 3. С. 115—117.

© Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фоменко Н. А., 2016

Поступила в редакцию
в августе 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фоменко Н. А. Повышение эффективности защиты гидропривода строительно-дорожных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 76—85.

Об авторах:

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., проректор по учебно-воспитательной работе, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

O. V. Burlachenko, S. V. Aleksikov, N. A. Fomenko

RELIABILITY IMPROVEMENT OF THE PROTECTION SYSTEM OF HYDRAULIC GEAR OF CONSTRUCTION AND ROAD CARS

The article offers licenced by the authors new devices of hydraulic-mechanical method of protection of hydraulic gear of construction and road cars against unauthorized emission of power liquid at the destruction of high pressure hoses.

K e y w o r d s: hydraulic gear, hydraulic system, high-pressure hose, protection of the hydraulic gear, locking device.

REFERENSES

1. Fomenko N. A. *Sovershenstvovanie ekspluatatsionnykh svoistv gidravlicheskikh sistem mashinno-traktornykh agregatov* [Improvement of operating properties of hydraulic systems of machine and tractor units. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Volgograd, 2002. 166 p.

2. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Aleksikov S. V. *Resursosberegayushchaya gidravlicheskaya sistema stroitel'noi tekhniki* [Resource-saving hydraulic system of construction equipment. Proc. of the Int. sci.-pract. conf.]. Saratov, 2014. Pp. 221—224.

3. Serdobintsev Yu. P., Burlachenko O. V., Skhirtladze A. G. *Povyshenie kachestva funktsionirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya: monographiya* [Quality improvement of processing equipment functioning]. Staryi Oskol, TNT Publ., 2010. 411 p.

4. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Sapozhkova N. V. [Reduce on energy hydraulic shock in lock protection device of the hydraulic system of construction and road machines]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015, no. 1(37), paper 3. URL: http://www.vestnik.vgasu.ru

5. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Sapozhkova N. V. [Ways of improvement of a hydraulic actuator of traction vehicles]. *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], 2014, iss. 36(55), pp. 218—222.

6. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Sapozhkova N. V. [Improvement of hydraulic system of construction equipment]. *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], 2014, iss. 38(57), pp. 120—124.

7. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V. [Protection system of hydraulic drive of road-building machines]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 40(59), pp. 219—229.

8. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V. [Reliability improvement of the locking structure of the protection system of hydraulic gear of construction and road cars]. *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], 2015, iss. 41(60), pp. 169—180.

9. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V. [Relief valve of protection system of hydraulic drive of a machine]. *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], 2015, iss. 42(61), pp. 163—173.

10. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Fomenko V. N. *Truboprovod vysokogo davleniya* [High pressure pipeline. Pat. RU 2511926 C2 Russian Federation MPK F 15 B 20/00 (2006.01)].

11. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V. *Sistema zashchity gidroprivoda* [System of protection of a hydraulic gear. Pat. application 2014121185; Russian Federation].

12. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V. *Sistema zashchity gidroprivoda* [System of protection of a hydraulic gear. Application for the invention no. 2014133230].

13. Fomenko N. A., Aleksikov S. V., Bogdanov V. I., Sapozhkova N. V. [Pipeline of the hydraulic system of construction-road machines]. *Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya* [Bulletin of Development of Science and Education], 2014, no. 3. pp. 115—117.

For citation:

Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Fomenko N. A. [Reliability improvement of the protection system of hydraulic gear of construction and road cars]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 76—85.

About authors:

Burlachenko Oleg Vasil'evich — Doctor of Engineering Science, Professor, Vice-Rector for Studies and Educational Work, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oburlachenko@yandex.ru

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

Fomenko Nikolai Aleksandrovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 697.329

С. Н. Торгашина, А. С. Довмалова, И. А. Зазуля, Г. А. Торгашин

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В МЕЖСЕЗОННЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Рассматривается возможность применения солнечных систем отопления в межсезонный период года, что приводит к значительному экологическому и экономическому эффекту.

К л ю ч е в ы е с л о в а: возобновляемые источники энергии, солнечная радиация, солнечный коллектор, система солнечного отопления.

Развитие возобновляемой энергетики в мире вызвано следующими причинами: экологической чистотой возобновляемой энергии света, истощаемостью запасов органического топлива и неистощаемостью возобновляемых источников энергии.

Хотя энергия солнца доступна в неограниченном количестве, ее использование затруднительно вследствие рассеянного распределения (только 70 Вт/м^2 зимой) и нерегулярности радиации (лето — зима, день — ночь).

При детальном проектировании зданий (инсоляция, ориентация и т. д.) необходимо также учитывать энергетические требования. «Солнечные дома» проектируются тщательным образом, и эти требования должны соблюдаться в мельчайших деталях. Необходимо:

изучать естественные условия и строить с учетом климата;

учитывать сохранение энергии;

снижать энергетические потребности здания за счет инсоляции;

правильно ориентировать здание и располагать отверстия и солнечные коллекторы с южной стороны;

избегать затенения южного фасада здания;

учитывать взаимосвязь технических и эстетических сторон при проектировании аккумуляторов тепла и солнечных коллекторов;

учитывать, что технически и конструктивно многократное использование энергии всегда находит применение в доме (отработанная вода, освещение и т. д.);

учитывать теплозащитные свойства наружных конструкций домов (деревьями, склонами, тепловыми буферными зонами и т. д.);

тщательно рассчитывать оптимальное соотношение между объемом здания и наружной поверхностью, подвергаемой воздействию климатических условий (максимально возможный объем при наименьшей поверхности наружного ограждения).

Выполнение этих правил приведет к тому, что приток энергии в энергетическом балансе будет относительно больше, а потери меньше.

Достижение максимального комфорта, индивидуальности и высокой архитектурной выразительности здания не должно противоречить дополнительным гелио- и теплотехническим требованиям, обусловленным новыми функциями энергоактивного объекта. Требования эти подчас двойственны,

но, как показывает практика, при вдумчивом, творческом подходе сравнительно легко преодолимы.

Основное гелиотехническое требование — обеспечить в системе ограждений достаточную площадь гелиоприемников и разместить их оптимально к солнечным лучам. Оптимальное расположение солнечного коллектора — наклонное, что противоречит традиционным конструкциям стен здания, а при многоэтажном строительстве заставляет отыскивать компромиссные решения (рис. 1). Кроме того, коллекторы, совмещаемые с ограждениями, ориентированными на Восток — Юг — Запад, создают трудности в инсоляции помещений и естественном освещении.

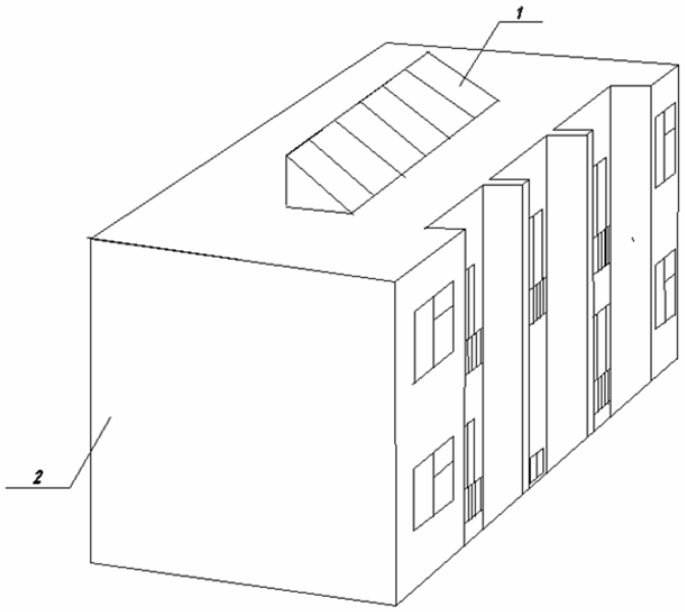


Рис. 1. Схема использования солнечных коллекторов для подогрева воды для нужд отопления и поддержания микроклимата в здании: *1* — система солнечных коллекторов; *2* — жилое здание

На основании проведенного аналитического обзора целесообразности применения и конкурентоспособности систем солнечного отопления выявлена актуальность рассматриваемого вопроса в Волгоградской области.

Выбор эффективности систем солнечного отопления определяется комплексом физических характеристик солнечного излучения.

Характерной особенностью режима солнечной радиации в условиях Волгоградской области является двойственность оказываемых воздействий на жилое здание и человека: с одной стороны — солнечное облучение сооружений благоприятно и может быть экономически выгодным, поэтому необходимо обеспечить поступление солнечного света в интерьеры зданий и городское пространство; с другой — оно может вызвать перегрев, ультрафиолетовую переоблученность, световой дискомфорт и перерасход электроэнергии на регулирование микроклимата, что обусловливает необходимость защиты от воздействия инсоляции.

Проведенный анализ приведенной солнечной облученности по средним многолетним данным при действительной облачности в местах, представляющих разнообразные гелиоклиматические условия, показал, что Волгоград имеет срединную характеристику приведенной облученности по отношению как к южным, так и северным городам [1]. Поэтому для гелиоклиматических условий Волгограда энергию солнца результативно использовать в межсезонный период года.

Рассмотренные показатели режима солнечной радиации позволяют сделать вывод о наличии достаточно высокой энергетической активности Солнца на широте города Волгограда, что определяет потенциал использования солнечного излучения в качестве дополнительного источника энергии в межсезонный период года (рис. 2 —5).

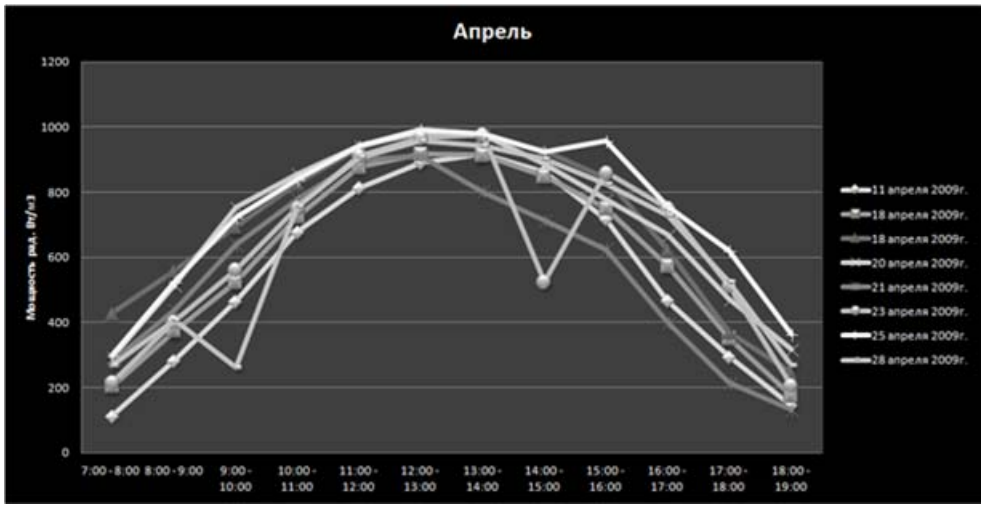


Рис. 2. Зависимость поступающей солнечной радиации от времени суток в апреле

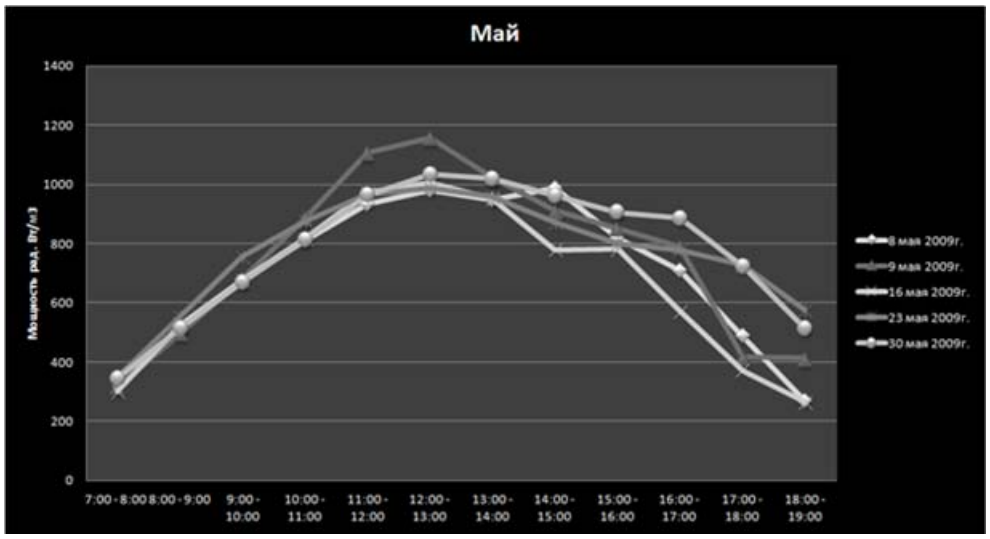


Рис. 3. Зависимость поступающей солнечной радиации от времени суток в мае

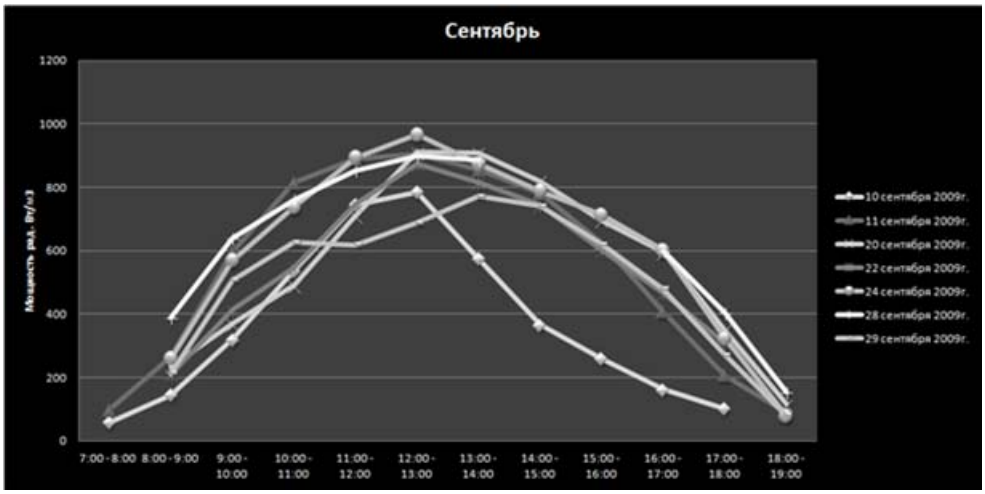


Рис. 4. Зависимость поступающей солнечной радиации от времени суток в сентябре

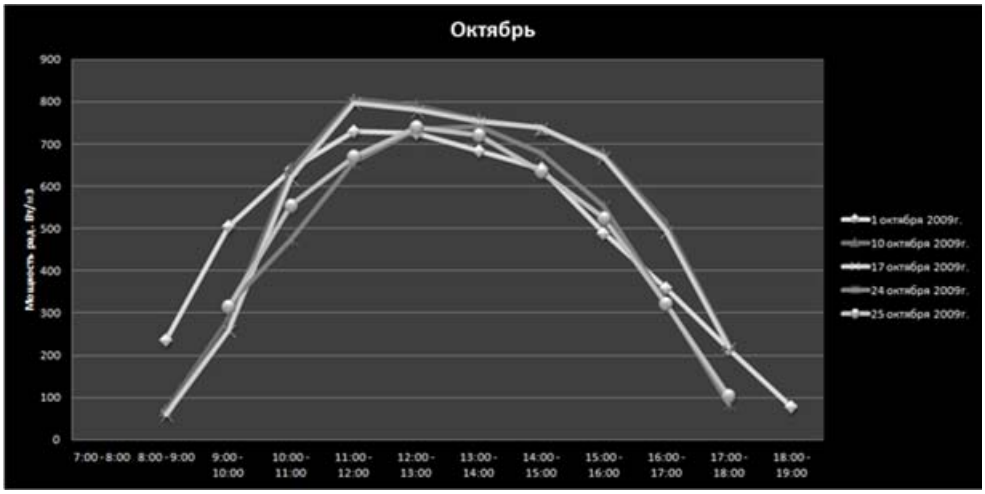


Рис. 5. Зависимость поступающей солнечной радиации от времени суток в октябре

Учитывая, что в межсезонный период года (весна, осень) на территории Волгоградской области активность Солнца значительно ниже, и обычно преобладает рассеянная радиация, для утилизации тепла солнечной радиации целесообразнее всего использовать низкопотенциальные системы утилизации. Тепло, накопленное в летний период, может использоваться для нужд отопления в переходный период (осень). Как выявлено в результате исследований, активные солнечные системы с сезонным хранилищем приносят около 65 % экономии тепловой энергии [1]. Так как с перемещением на юг отмечается увеличение солнечной активности, то применение подобных систем в Волгограде может дать значительный экономический эффект.

Исходя из раскрытых специфических особенностей климата и ландшафта Волгоградской области, можно утверждать, что энергетический потенциал природной среды предоставляет неограниченные возможности для внедрения в строительную практику систем солнечного отопления.

При конструировании системы солнечного отопления необходимо учитывать тип и назначение здания (рис. 6).

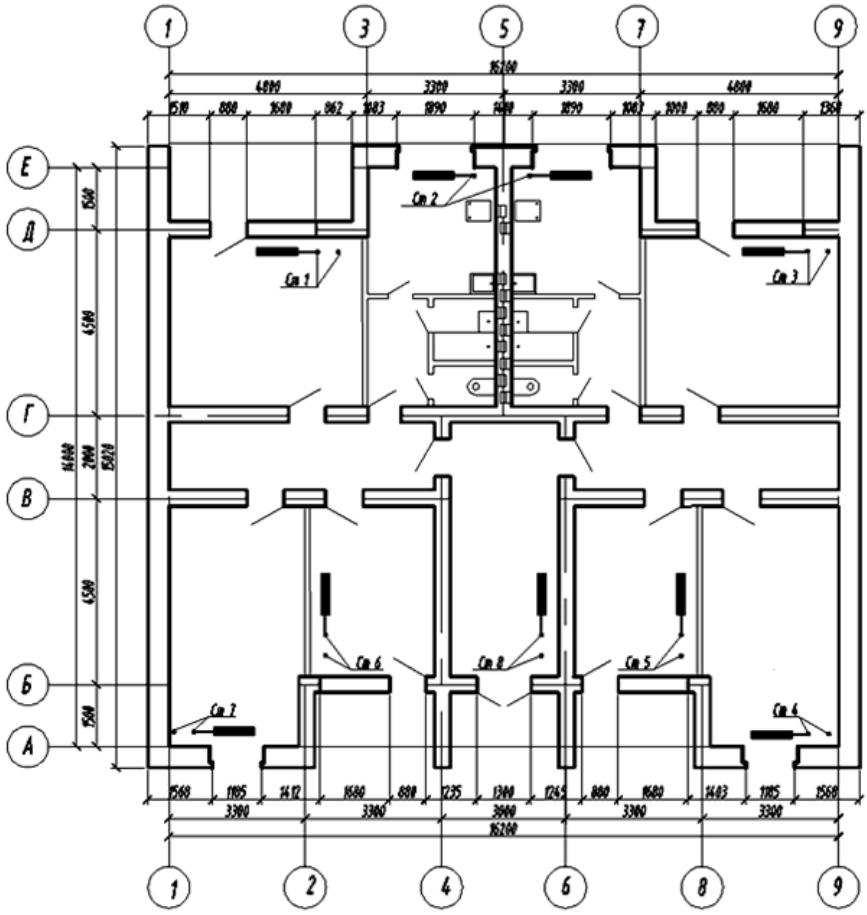


Рис. 6. План двухэтажного жилого здания

В зависимости от места эксплуатации системы установки солнечного отопления, можно применять несколько вариантов установки, которые приводятся в табл. [2].

Варианты установки системы солнечного отопления

Тип зданий	Установки солнечного отопления
Кемпинги, летние душевые	Межсезонные без дублера
Пансионаты сезонного действия, пионерские лагеря	Межсезонные с дублером
Малоэтажные жилые дома	Межсезонные с дублером

Кроме того, при конструировании установок системы солнечного отопления необходимо:

применять системы с естественной циркуляцией при площади солнечных коллекторов 10 м^2;

присоединять трубопроводы, подающие воду в солнечные коллекторы, а также водопроводную воду, в таких системах к нижней части бака-аккумулятора, а трубопроводы, отводящие нагретую воду от солнечных коллекторов и подающие ее в систему, к верхней части бака-аккумулятора. Для присоединения солнечных коллекторов с баком-аккумулятором следует использовать трубы с диаметром условного прохода не менее 25 мм[*];

прокладку магистральных трубопроводов установок солнечного отопления следует предусматривать с уклоном не менее 0,003 с насосной циркуляцией теплоносителя. Уклоны труб подводок к солнечному коллектору следует принимать равными 5...10 мм на всю длину подводки;

пространственное расположение солнечных коллекторов следует определять с учетом климатических, ландшафтных условий, типа застройки и возможностей строительной площадки [3].

В результате анализа предлагается схема использования солнечного коллектора для подогрева воды на нужды отопления (рис. 7, 8).

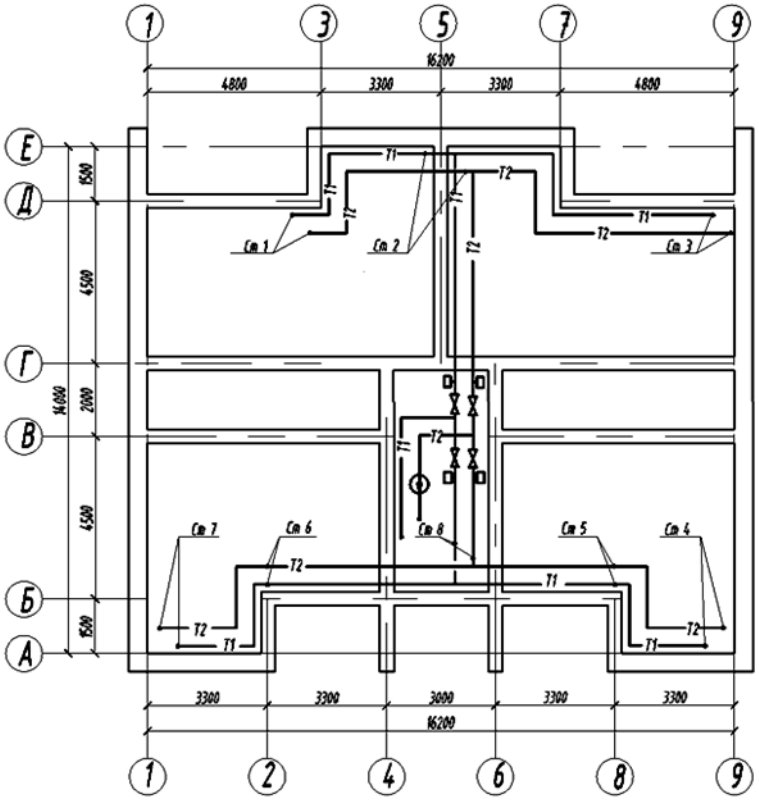


Рис. 7. План подвала двухэтажного жилого здания

Принимается к установке чугунные радиаторы марки МС-90-108:
а) площадь нагревательной поверхности одной секции F = 0,187 м^2;
б) номинальный тепловой поток $Q_{НУ}$ = 150 Вт.

[*] СНиП 2.04.05—99. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М., 1999.

Гелиоклиматическая система предназначена для нагрева холодной воды от 10 °С до 45 °С в межсезонный период, общее потребление воды 0,7 м^3. Возьмем для установки плоский солнечный коллектор с рабочей поверхностью 2 м^2, предназначенный для работы в водопроводный сетях с давлением до 6 атм. Всего потребуется установить 6 гелиоколлекторов.

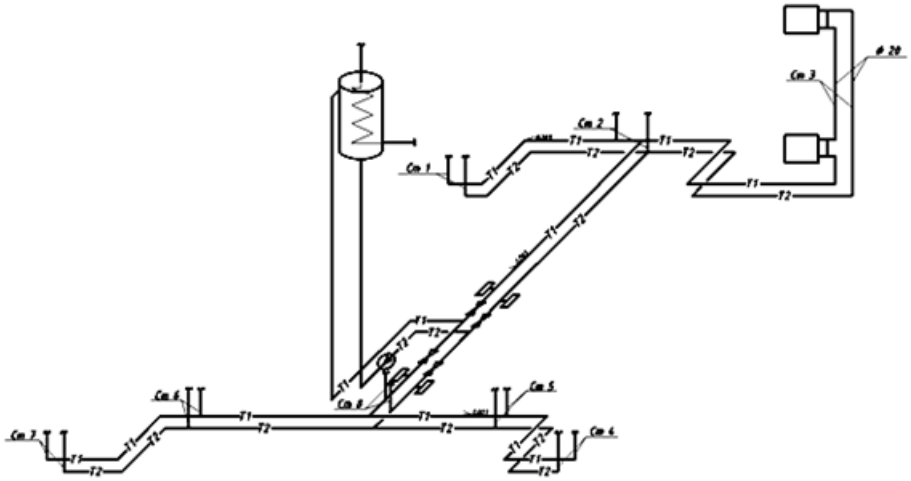


Рис. 8. Аксонометрическая схема

Применение солнечной энергии является одним из наиболее перспективных направлений использования возобновляемых источников энергии. Солнечные водонагревательные установки имеют наименьшие сроки окупаемости из всех видов возобновляемых источников энергии. Они соответствуют высоким экологическим требованиям и простоте монтажа.

Только при проведении грамотной политики в области энергосбережения можно при минимальных затратах создать высокоэффективные системы, позволяющие решить проблемы обеспечения топливно-энергетическими ресурсами всех отраслей экономики не за счет разработки новых месторождений, а за счет использования систем солнечного отопления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Торгашина С. Н.* Определение условий оптимизации конструктивно-технологических параметров солнечных коллекторов систем теплоснабжения для нужд горячего водоснабжения: дис… канд. техн. наук. Волгоград, 2006.

2. *Богословский В. Н., Сканави А. Н.* Отопление. М.: Стройиздат, 1991. 735 с.

3. Проектирование отопления здания: методические указания. Ч. 1. Волгоград: ВолгИСИ, 1985.

© Торгашина С. Н., Довмалова А. С., Зазуля И. А., Торгашин Г. А., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Солнечный коллектор как метод повышения теплотехнических качеств жилых и общественных зданий в межсезонный период года / С. Н. Торгашина, А. С. Довмалова, И. А. Зазуля, Г. А. Торгашин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 86—93.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, torgashina_svetlana@mail.ru

Довмалова Анна Станиславовна — студентка, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Зазуля Илона Александровна — студентка, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Торгашин Герман Анатольевич — студент, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

S. N. Torgashina, A. S. Dovmalova, I. A. Zazulya, G. A. Torgashin

SOLAR ENERGY COLLECTOR AS THE METHOD OF INCREASE OF THERMOTECHNICAL QUALITIES OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS DURING THE INTERSEASONAL PERIOD OF A YEAR

The author consider the possibility to apply solar heating facilities during the interseasonal period of a year that leads to the considerable environmental and economic effect.

K e y w o r d s: renewable energy sources, solar radiation, solar energy collector, solar heating facilities.

REFERENSES

1. Torgashina S. N. *Opredelenie uslovii optimizatsii konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov solnechnykh kollektorov sistem teplosnabzheniya dlya nuzhd goryachego vodosnabzheniya: dis… kand. tekhn. nauk* [Determination of conditions for the optimization of structural and technological parameters of solar collectors in heat supply systems for the needs of hot water supply. Diss. Cand. Eng. Sc.]. Volgograd, 2006.

2. Bogoslovskii V. N., Skavavi A. N. *Otoplenie* [Heating]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1991. 735 p.

3. *Proektirovanie otopleniya zdaniya: metodicheskie ukazaniya. Ch. 1* [Design of heating systems in building: methodology instructions. Vol. 1]. Volgograd, 1985.

For citation:

Torgashina S. N., Dovmalova A. S., Zazulya I. A., Torgashin G. A. [Solar energy collector as the method of increase of thermotechnical qualities of residential and public buildings during the interseasonal period of a year]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 86—93.

About authors:

Torgashina Svetlana Nikolaevna — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, torgashina_svetlana@mail.ru

Dovmalova Anna Stanislavovna — Student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Zazulya Ilona Aleksandrovna — Student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Torgashin German Anatol'evich — Student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 69.059.164

О. Г. Чеснокова

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХТОНКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПРОМЕРЗАНИЯ СТАЛЬНЫХ ОКОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК

Статья освещает результаты расчета температурных полей в верхней зоне окна. Обобщен опыт рабочего проектирования и строительства индивидуальных жилых домов.

Предложен способ увеличения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции в верхней зоне окна и уменьшения негативного влияния расположения несущих конструкций в зоне отрицательных температур. Предложено решение по исключению промерзания стальных перемычек и образования плесени на откосах окон в индивидуальных жилых домах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: образование плесени на откосах окна, теплофизические свойства материалов, архитектурно-конструктивное проектирование, коэффициент теплопроводности, расчет температурных полей.

В существующей практике активно используются стальные оконные перемычки из уголка. Такой вариант перемычек дает возможность дешево, без применения механизмов, легко возводить малые объекты неиндустриальным способом из мелкоразмерных элементов. Но при таком способе возведения возникают неизбежные проблемы. Использование стальных уголков, являющихся «мостиками холода», приводит к промерзанию оконных откосов, выпадению конденсата на внутренней поверхности стены и, как следствие, образованию плесени (рис. 1).

Проблема микогенной сенсибилизации в последние годы приобрела особую актуальность, поскольку грибы-микромицеты являются одним из наиболее распространенных в окружающей среде источников аллергенов.

Кроме того, промерзание стального уголка неблагоприятно сказывается на всей конструкции здания и может привести к преждевременной коррозии металла над окном.

Рис. 1. Зоны сырости и образования плесени на поверхности откоса окна

В данной статье предложено решение описанной выше проблемы. Далее представлен анализ температурных полей верхнего откоса окна.

Задача решалась методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программы COMSOL Multiphysics v4.3a [1—6].

Исследования проблемы негативного воздействия отрицательных температур и воздействия влаги посвящены труды Натали Вильямс [1—4]. В трудах других авторов также описана физика процесса [5—7].

Для сравнительного анализа было сделано 4 варианта конструктивного решения (рис. 2—5):

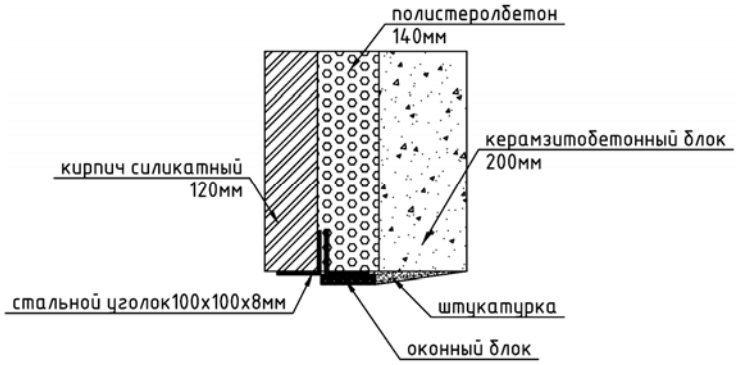


Рис. 2. 1-й вариант — принятое конструктивное решение угла с использованием незащищенных спаренных уголков

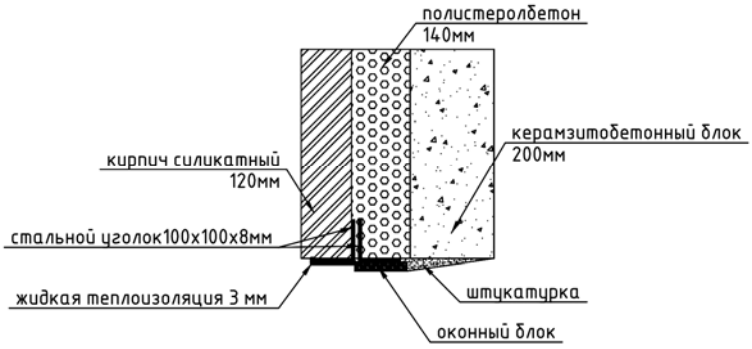


Рис. 3. 2-й вариант — окраска поверхности наружного уголка сверхтонкой жидкой керамической теплоизоляцией после монтажа (или на существующем объекте)

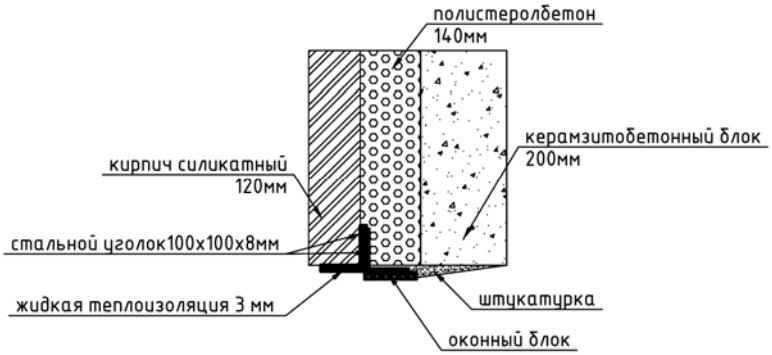


Рис. 4. 3-й вариант — полная окраска со всех сторон поверхности наружного уголка сверхтонкой жидкой керамической теплоизоляцией до монтажа

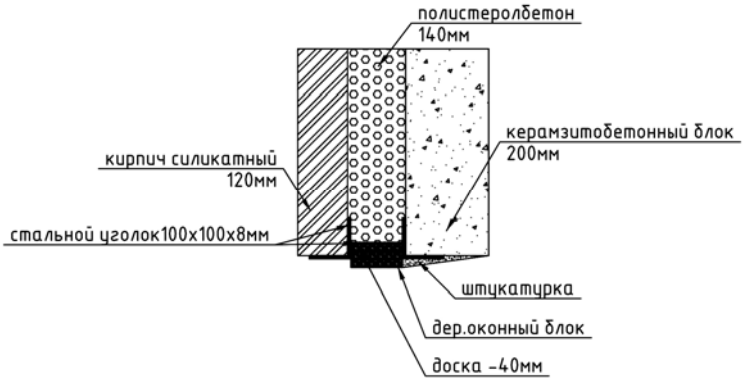


Рис. 5. 4-й вариант — разделение уголков деревянной доской 40 мм (разрыв мостика холода)

Характеристики используемых в расчете материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры материалов

Наименование материала	Теплопроводность, В/(м·К)	Плотность, кг/м^3	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)
Кирпич силикатный	0,76	2000	880
Полистеролбетон	0,2	600	1060
Сталь	44,5	7850	475
Сверхтонкая жидкая тепло-изоляция	0,001	500	1470
Керамзитобетонные блоки	0,67	1600	800
Дерево (сосна)	0,18		500
Штукатурка	0,76	1800	840

Распределение температурных полей определялось из решения дифференциального уравнения [8—9]:

$$\mathrm{div}(-\lambda\nabla T) = 0,$$

где $\nabla\frac{\partial}{\partial x}\vec{i}+\frac{\partial}{\partial y}\vec{i}$ — оператор Лапласа.

При расчете учитывали граничные условия (ГУ) 3-го рода, с использованием коэффициентов теплообмена α:

t_{int} — 20 °С — температура внутреннего воздуха;

t_{ext} — –25 °С температура наружного воздуха; на наружной поверхности принята температура, наиболее неблагоприятная в зимний период;

τ_{int} — температура внутренней поверхности ограждающей конструкции;

τ_{ext} — температура наружной поверхности ограждающей конструкции.

Кроме того, в расчете были заданы следующие граничные условия:

α_{int} — коэффициент теплоотдачи, принят по табл. 4 СП 50.13330.2012, равный 8,7 Вт/м^2 °С для утренней поверхности. α_{ext} — коэффициент теплоотдачи для наружной поверхности, равный 23 Вт/м^2 °С, принят по табл. 6 СП 50.13330.2012.

Задача была рассчитана в стационарном режиме с неизменными теплофическими свойствами материалов слоев. Стационарный режим рассмотрен как для плоской задачи [8—15].

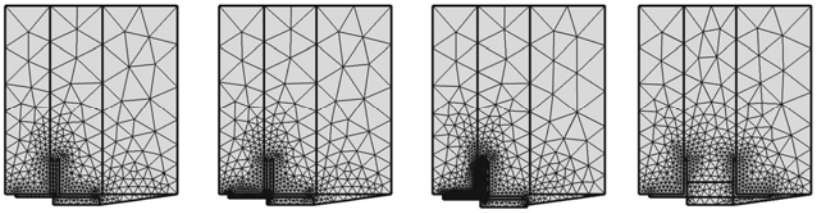


Рис. 6. Сетка конечных элементов по расчетным схемам 1—4

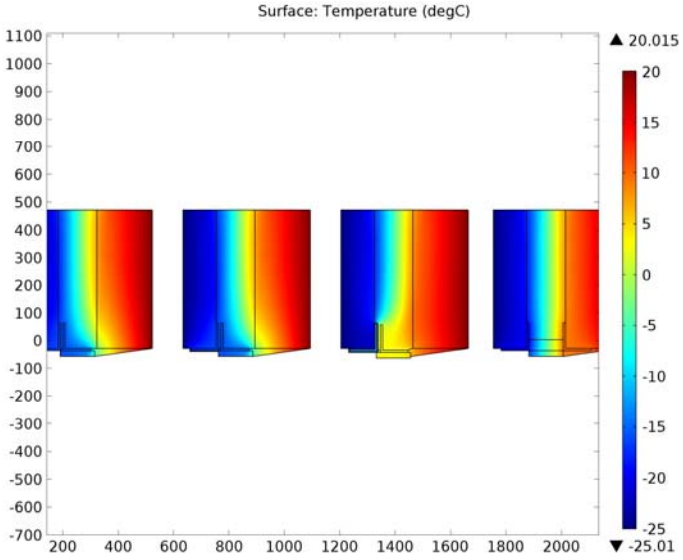
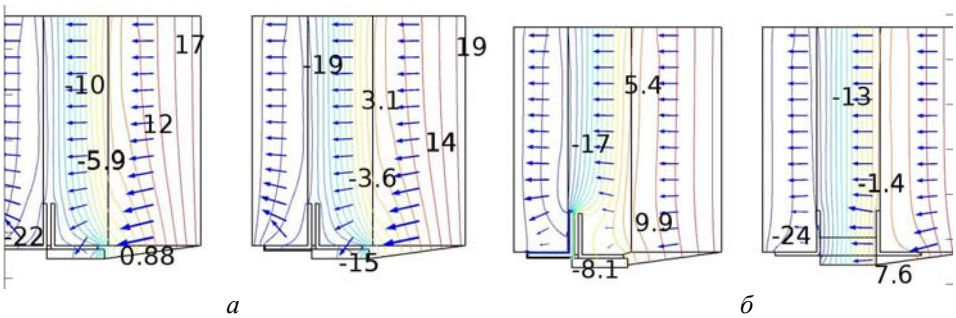


Рис. 7. Графическое представление распределения температурных полей



а *б*

Рис. 8. Графическое представление распределения температурных полей с указанием температуры: *а* — по 1-му и 2-му вариантам расчетной схемы; *б* — по 3-му и 4-му вариантам расчетной схемы

Таблица 2

Сравнительный анализ температур

	1-й вариант расчетной схемы	2-й вариант расчетной схемы	3-й вариант расчетной схемы	4-й вариант расчетной схемы
Усредненная температура на внутренней поверхности верхнего оконного откоса, °С	8,38	8,4	13,24	12,39
Температура в точке — угол откоса и окна, °С	–4,45	–4,43	5,5	8,4

Выводы:

1. Результаты расчетов температуры с линейными теплофизическими свойствами показали, что при незащищенных теплоизоляцией стальных уголках однозначно наступит промерзание и образование плесени на оконном откосе (результаты по 1-й расчетной схеме).

2. Использование сверхтонкой жидкой теплоизоляции не эффективно, если окраска сделана после монтажа лишь наружно (результаты по 2-й расчетной схеме).

3. Полная окраска наружного уголка сверхтонкой жидкой теплоизоляцией со всех сторон до монтажа дает результат [16—19]. Наблюдается исключение промерзания и невозможность образования плесени (результаты по 3-й расчетной схеме).

4. Разделение уголков деревянной доской 40 мм (разрыв «мостика холода») также дает положительный результат (результаты по 4-й расчетной схеме).

5. Кроме того, следует отметить, что значительную долю в изменениях распределения температурных полей дадут различные конструктивные особенности, такие как, щели, неплотная подгонка, технологические отверстия и т. п. Устранение этих проблем приведет к изменению распределения температур и ее увеличению на поверхности и внутри конструкции стены и оконного откоса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Evaluation of heat and moisture induced stress and strain of historic building materials and artefacts. URL:: http://archbps1.campus.tue.nl/bpswiki/images/9/96/Natalie_Williams_Portal_MSc_Final.pdf

2. Tensile behaviour of textile reinforcement under accelerated ageing conditions / N. Williams, M. Flansbjer, P. Johannesson, K. Malaga, K. Lundgren // Journal of Building Engineering. 2016. Vol. 5. Pp. 57—66. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2015.11.006

3. *Williams N.* Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2015.

4. *Williams N., Kalagasidis A. S., Van Schijndel A. W. M.* Simulation of heat and moisture induced stress and strain of historic building materials // 12th Conference of International Building Performance Simulation Association Building Simulation 2011, BS 2011; Sydney, NSW; Australia, 2011. Pp. 24—31.

5. *Davidy A.* IMI — Israel Military Industries Thermo // Mechanical Analysis of Composite Material Exposed to Fire to Fire. Comsol Conference. Milan, 2012.

6. *Bianchi Janetti M., Ochs F., Pfluger R.* Coupling Forced Convection in Air Gaps with Heat and Moisture // Comsol Conference. Milan, 2012.

7. *Krus M.* Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials. Theoretical Principles and New Test Methods. Fraunhofer IRB Verlag, 1996.

8. Nonlinear Structural Materials Module User's Guide. URL: http://hpc.mtech.edu/comsol/pdf/Nonlinear_Structural_Materials_Module/NonlinearStructuralMaterialsModuleUsersGuide.pdf

9. Comsol v.4.3. COMSOL Multiphysics. User's Guide. URL: http://people.ee.ethz.ch/~fieldcom/pps-comsol/documents/User%20Guide/COMSOLMultiphysicsUsersGuide.pdf

10. *Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В.* Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.

11. *Бирюлин Г. В.* Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL / FEMLAB DOC. Методическое пособие. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. 78 с.

12. *Chung J., Hulbert G. M.* A time integration algorithm for structuraldynamics with improved numerical dissipation: The generalized-amethod // J. Appl. Mech. 1993. V. 60. Pp. 371—375.

13. SUNDIALS: Suite of Nonlinearand Differential/Algebraic Equation Solvers / A. C. Hindmarsh, P. N. Brown, K. E. Grant, S. L. Lee, R. Serban, D. E. Shumaker, C. S. Woodward // ACM T. Math. Software. 2005. Vol. 31. Iss. 3. Pp. 363—396. DOI: 10.1145/1089014.1089020.

14. *Brown P. N., Hindmarsh A. C., Petzold L. R.* Using Krylovmethods in the solution of large-scale differential-algebraic systems // SIAM J. Sci. Comput. 1994. Vol. 15. Pp. 1467—1488.

15. *Телегин А.С.* Тепло-массоперенос. М.: Металлургия, 1995. 400 с.

16. *Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г.* Исследование возможности применения жидких керамических теплоизоляций для повышения сопротивления теплопередаче совмещенных кровельных покрытий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 27(46). С. 5—8.

17. *Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г., Власов В. А.* Применение жидкого керамического утеплителя для улучшения теплофизических параметров участков существующих ограждающих конструкций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 21(40). С. 44—46.

18. *Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г., Власов В. А.* Использование сверхтонкой теплоизоляции «корунд-фасад» в сопряжении перекрытий со стенами монолитных зданий // Научный потенциал молодых ученых для инновационного развития строительного комплекса Нижнего Поволжья: материалы Международной науч.-практич. конф.: в 2-х частях. 2011. С. 209—211.

19. *Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г.* Экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости жидкого керамического утеплителя типа «корунд-классик» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 26(45). С. 144—147.

© Чеснокова О. Г., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Чеснокова О. Г. Использование сверхтонкой теплоизоляции для исключения промерзания стальных оконных перемычек // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 94—101.

Об авторе:

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

O. G. Chesnokova

USE OF ULTRA-FINE HEAT INSULATION TO PREVENT FREEZING OF STEEL WINDOW BRIDGES

The article highlights the results of calculation of temperature fields in the upper area of the window. The experience of working design and construction of individual houses is summed up.

The authors propose the method to increase thermal resistance of the enclosing structure in the upper area of the window and reduce the negative impact of the location of load-bearing structures in the zone of negative temperatures. The solution to prevent freezing of steel window bridges and mould growth on the slopes of windows in individual houses is offered.

K e y w o r d s: mould growth on the slopes of windows, thermal properties of materials, architectural and structural design, thermal conductivity, calculation of temperature fields.

REFERENSES

1. *Evaluation of heat and moisture induced stress and strain of historic building materials and artefacts*. URL:: http://archbps1.campus.tue.nl/bpswiki/images/9/96/Natalie_Williams_Portal_MSc_Final.pdf

2. Williams N., Flansbjer M., Johannesson P., Malaga K., Lundgren K. Tensile behaviour of textile reinforcement under accelerated ageing conditions. *Journal of Building Engineering*, 2016,. vol. 5, pp. 57—66. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2015.11.006

3. Williams N. *Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability*. Göteborg, Chalmers University of Technology, 2015.

4. Williams N., Kalagasidis A. S., Van Schijndel A. W. M. Simulation of heat and moisture induced stress and strain of historic building materials. *12th Conf. of Int. Building Performance Simulation Association Building Simulation 2011*, BS 2011; Sydney, NSW; Australia, 2011. Pp. 24—31.

5. Davidy A. IMI — Israel Military Industries Thermo. *Mechanical Analysis of Composite Material Exposed to Fire to Fire. Comsol Conference*. Milan, 2012.

6. Bianchi Janetti M., Ochs F., Pfluger R. Coupling Forced Convection in Air Gaps with Heat and Moisture. *Comsol Conference*. Milan, 2012.

7. Krus M. *Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials. Theoretical Principles and New Test Methods*. Fraunhofer IRB Verlag, 1996.

8. *Nonlinear Structural Materials Module User's Guide*. URL: http://hpc.mtech.edu/comsol/pdf/Nonlinear_Structural_Materials_Module/NonlinearStructuralMaterialsModuleUsersGuide.pdf

9. *Comsol v.4.3. COMSOL Multiphysics. User's Guide*. URL: http://people.ee.ethz.ch/~fieldcom/pps-comsol/documents/User%20Guide/COMSOLMultiphysicsUsersGuide.pdf

10. Krasnikov G. E., Nagornov O. V., Starostin N. V. *Modelirovanie fizicheskikh protsessov s ispol'zovaniem paketa Comsol Multiphysics* [Modeling of physical processes using Comsol Multiphysics package]. Moscow, NRNU MEPhI, 2012. 184 p.

11. Biryulin G. V. *Teplofizicheskie raschety v konechno-elementnom pakete COMSOL / FEMLAB DOC. Metodicheskoe posobie* [Thermo-physical estimations in the finite element package COMSOL/FEMLAB DOC. Resource book]. Saint Petersburg, ITMO University, 2006. 78 p.

12. Chung J., Hulbert G. M. A time integration algorithm for structuraldynamics with improved numerical dissipation: The generalized-amethod. *J. Appl. Mech*., 1993, vol. 60, pp. 371—375.

13. Hindmarsh A. C., Brown P. N., Grant K. E., Lee S. L., Serban R., Shumaker D. E., Woodward C. S. SUNDIALS: Suite of Nonlinearand Differential/Algebraic Equation Solvers // ACM T. Math. Software. 2005. Vol. 31. Iss. 3. Pp. 363—396. DOI: 10.1145/1089014.1089020.

14. Brown P. N., Hindmarsh A. C., Petzold L. R. Using Krylovmethods in the solution of large-scale differential-algebraic systems. *SIAM J. Sci. Comput*., 1994, vol. 15, pp. 1467—1488.

15. Telegin A. S. *Teplo-massoperenos* [Heat and mass transfer]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1995. 400 p.

16. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G. [The research of possibility of application of liquid ceramic heat-insulation to increase resistance to the heat transfer of combined roofing coverings].]. *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], 2012, iss. 27(46), pp. 5—8.

17. Zhukov A. N., Perehozhencev A. G., Vlasov V. A. [Application of the fluidic stoneware insulant to the improve thermophysical parameters of stretches of the existing main building envelope]. *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], 2011, iss. 21(40), pp. 44—46.

18. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G., Vlasov V. A. [Use of ultra-fine heat insulation "corundum-façade" in conjunction of beams with the walls of monolithic buildings]. *Nauchnyi potentsial*

molodykh uchenykh dlya innovatsionnogo razvitiya stroitel'nogo kompleksa Nizhnego Povolzh'ya: materialy Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf.: v 2-kh chastyakh [Scientific potential of young scientists for the innovative development of the construction complex in Lower Volga region. Proc. of the Int. Sc.-Pr. Conf.: in 2 parts]. 2011. Pp. 209—211.

19. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G. **[**Experimental determination of vapor permeability coefficient of liquid ceramic insulant "Corund-Classic"]. *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], 2012, iss. 26(45), pp. 144—147.

For citation:

Chesnokova O. G. [Use of ultra-fine heat insulation to prevent freezing of steel window bridges]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 94—101.

About author:

Chesnokova Oksana Gennad'evna — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oxxxana72@yandex.ru

УДК 628.316.12

Е. А. Вараева

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ ОТ СУЛЬФАТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Представлена технология очистки сточных вод предприятий горнопромышленного комплекса, позволяющая снизить концентрацию ионов тяжелых металлов и сульфатов до ПДК. Приведены результаты лабораторных исследований.

К л ю ч е в ы е с л о в а: горно-обогатительный комбинат, шахтные и подотвальные сточные воды, очистка сточных вод, нейтрализация, ионы тяжелых металлов, сульфаты.

В результате переработки руд на горно-обогатительных комбинатах (ГОК) образуются отходы, в том числе сточные воды, загрязненные кислотами и солями тяжелых металлов. Практически всегда стоки ГОК — шахтно-рудничные, подотвальные, технологические (дебалансные) — имеют сложный состав: ионы тяжелых металлов; кислоты; растворенные сульфаты; остатки реагентов, используемых при обогащении руд [1].

Проведенный анализ работы очистных сооружений ряда действующих ГОК (таких как ОАО «Учалинский ГОК», КОО «Предприятие Эрдэнэт» и др.) показал, что наибольшие технические трудности связаны с обработкой шахтных и подотвальных вод [2]. Причины этого следующие:

1) расход шахтных и подотвальных вод может достигать 1000 $м^3$/ч и более. Указанные производственные сточные воды образуются круглосуточно и независимо от сезона. При этом концентрации загрязняющих веществ в этих стоках изменяются в широких пределах в зависимости от климатических факторов, горизонта, с которого происходит их откачка;

2) рассматриваемые шахтные и подотвальные воды являются высокоминерализованными, содержат свободную серную кислоту, соединения тяжелых металлов (железа, меди, цинка), сульфаты, а также другие специфические примеси [3]. При этом традиционная схема нейтрализации смеси шахтных и подотвальных вод известковым молоком, реализованная на большинстве ГОКов, не позволяет получить очищенную воду, пригодную для сброса в водный объект;

3) использование воды после очистных сооружений (станций нейтрализации) в производственном водоснабжении затруднено из-за ее высокой минерализации, незначительных потребностей ГОКов в свежей технической воде, а также удаленностью очистных сооружений ГОК от других крупных водопотребителей, например, металлургических предприятий [4].

Решение задачи разработки эффективной технологии даст возможность создавать очистные сооружения практически любой производительности для стоков с различной минерализацией и позволит очищать сточные воды ГОК до ПДК рыбохозяйственных водоемов.

Исследования по разработке технологии обработки шахтных и подотвальных сточных вод проводились, в основном, на сточных водах ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (Респ. Башкортостан).

Работа по определению состава указанных стоков в разные периоды года, зависимости концентрации загрязняющих веществ от внешних факторов была проведена в рамках исследований Вдовиной И. В., Сафаровой В. И. и др. [5—7]. Среднемноголетние данные анализа исследуемых сточных вод за период с 2003 по 2008 гг. приведены в табл. 1 [8].

Таблица 1

Основные компоненты и их содержание в подотвальных и шахтных водах ОАО «Учалинский ГОК» за 2003—2008 гг.

Определяемые показатели и ингредиенты	Подотвальные воды			Шахтные воды					
	Среднее многолетнее	Диапазон варьирования		Горизонт 144 м			Горизонт 460 м		
				Среднее многолетнее	Диапазон варьирования		Среднее многолетнее	Диапазон варьирования	
		min	max		min	max		min	max
pH, ед.	3,28	2,60	4,80	4,27	2,80	6,85	7,42	6,00	9,00
Содержание компонентов, мг/дм^3									
Сульфаты	7729	361	21515	5744	2012	12312	1834	1244	3370
Железо общ.	260	8,12	714	109	0,4	995	8,64	0,1	145
Медь	63,7	1,8	308	51,5	0,13	148	0,18	0,012	0,81
Цинк	507	13,2	1612	403	49,2	1836	40,3	0,062	172
Марганец	101	4,07	319	52,5	8,16	114	6,59	0,48	30
Кальций	366	42,1	673	441	237	1049	364	257	593
Магний	833	34	2988	516	72	1228	137	61	439
Сухой остаток	15130	344	48572	9843	75	7481	6329	77	35537

Из данных среднемноголетнего анализа следует, что состав шахтных вод значительно различается в зависимости от горизонта, с которого происходит их откачка на дневную поверхность. Для подотвальных вод выявлено, что содержание загрязняющих веществ увеличивается при уменьшении количества атмосферных осадков [7, 8]. Концентрация сульфатов в стоках варьируется в широких пределах и в разные периоды года значительно превышает ПДК водоемов культурно-бытового значения. Известно, что в подотвальных сточных водах некоторых ГОК, например, Куль-Юрт-Тау (Респ. Башкортостан, Баймакский район), содержание сульфатов превышает 20 г/дм^3 [9]. Высокое содержание сульфатов в стоках приводит не только к загрязнению водоемов и почв, но и к снижению эффективности очистных сооружений в связи с постоянным образованием гипсовых отложений в коммуникациях и аппаратах. При этом именно удаление сульфатов является наиболее сложным процессом при очистке высокоминерализованных сточных вод.

Традиционная технология обработки стоков комбинатов основана на нейтрализации с последующим образованием гидроксидов тяжелых металлов и сульфата кальция [10]. На станцию нейтрализации поступает смесь образующихся стоков — шахтных и подотвальных. Анализ результатов работы станций показал, что технология обеспечивает эффективную очистку от тяжелых металлов и только частичную — от сульфатов. При этом на выходе

отмечаются существенные превышения ПДК водоемов культурно-бытового значения по содержанию сульфатов (в 6 и более раз) [11].

При разработке технологии основным методом выделения примесей принято известкование. Целью нейтрализации является снижение содержания сульфатов за счет образования гипса (растворимость в воде при температуре 20 °С составляет 2,0 г/дм^3). При известковании попутно переводятся в осадок ионы тяжелых металлов [12].

Исследования по определению эффективности удаления сульфатов известкованием проводились на натурных пробах сточных вод ОАО «Учалинский ГОК»: подотвальные; шахтные с горизонта 460 м; шахтные с горизонта 144 м.

Для каждого из указанных стоков определена концентрация сульфатов и pH. Средние результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание сульфатов в исходных стоках в зависимости от pH

Наименование	pH	Содержание сульфатов, г/дм^3 *	
		I	II
Подотвальные	3,3	11,4	3,05
Шахтные (460 м)	7,0	0,5	0,94
Шахтные (144 м)	4,0	7,0	1,08
Смесь шахтных вод	4,3	2,8	1,1

* пробы I и II отобраны в июле и октябре соответственно, 2013 г.

На основании табл. 1, 2 установлено, что шахтные сточные воды содержат меньшее количество сульфатов, чем подотвальные в любое время года. Поэтому основой предлагаемой технологии принята раздельная нейтрализация шахтных и подотвальных сточных вод, что определяет новизну исследования. Смешивание производится на последнем этапе обработки. При этом очищенные шахтные сточные воды также используются для разбавления при смешивании стоков, что позволяет улучшить их показатели при сбросе в водоемы.

Для определения зависимости концентрации сульфатов от дозы извести, pH и времени перемешивания проведены исследования на модельных растворах. Установлено, что при значении pH 12,0 концентрация сульфатов в пробах с исходным содержанием SO_4 более 5,0 г/дм^3 снижается до 1,20 г/дм^3. Таким образом, требуемая концентрация сульфатов, а именно 1,13 г/дм^3, в подотвальных сточных водах при применении только известкового молока не достигается. Необходимо интенсифицировать процесс. Для этой цели в нашей технологии применяется метод введения затравки из оборотного осадка.

С учетом результатов исследования по нейтрализации и введению затравки предложена технология очистки сточных вод, характеризующихся повышенным содержанием сульфатов. Основу составляют следующие процессы:

1) при обработке подотвальных сточных вод требуется известкование до pH = 12,0. При этом вероятно растворение гидроксидов цинка, хрома. Для эффективного перевода тяжелых металлов в осадок производится ступенчатая нейтрализация: первая ступень — до pH = 9,0 для связывания ионов тяжелых металлов в гидроксиды и перевода их в осадок; вторая ступень — до

pH = 12,0 для дальнейшего перевода сульфатов в нерастворимую форму в виде гипса ($CaSO_4$ x $2H_2O$);

2) при обработке смеси шахтных сточных вод производится одноступенчатое известкование до pH = 9,0;

3) для интенсификации процесса образования гипса в подотвальных и шахтных стоках применяется введение затравки из оборотного осадка.

В случае если в исходных шахтных и подотвальных водах содержится близкое по значению количество сульфатов, рекомендуется проводить нейтрализацию без разделения потоков. При этом необходимость ступенчатой обработки определяется на основании анализа на содержание сульфатов исходных стоков.

Для выделения гидроксидов металлов и гипса из обрабатываемых стоков после нейтрализации применяются отстойники. Интенсификация процесса отстаивания производится путем добавки флокулянта. После проведения предварительных опытов по отбору флокулянтов для дальнейшей работы были отобраны: Аквапол ФТ2; Flopam AN905; Praestol 2540. В эксперименте применялись рабочие растворы флокулянтов с концентрацией 0,1 %.

Определены оптимальные дозы флокулянтов: Praestol 2540 — 20 мл/дм^3 (20 мг/дм^3); Аквапол ФТ2 — 40 мл/дм^3 (40 мг/дм^3); Flopam AN905 SH — 25 мл/дм^3 (25 мг/дм^3).

На основании экспериментальных данных к применению рекомендуются флокулянты Аквапол ФТ2, Flopam AN905 H (рис. 1). Выбор реагента для применения в технологической схеме произведен на основании сравнения стоимости: Praestol 2540 — 431,25 р/кг; Аквапол ФТ2 — 390,00 р/кг; Flopam AN905 SH — 383,00 р/кг. К применению рекомендован Flopam AN905 SH.

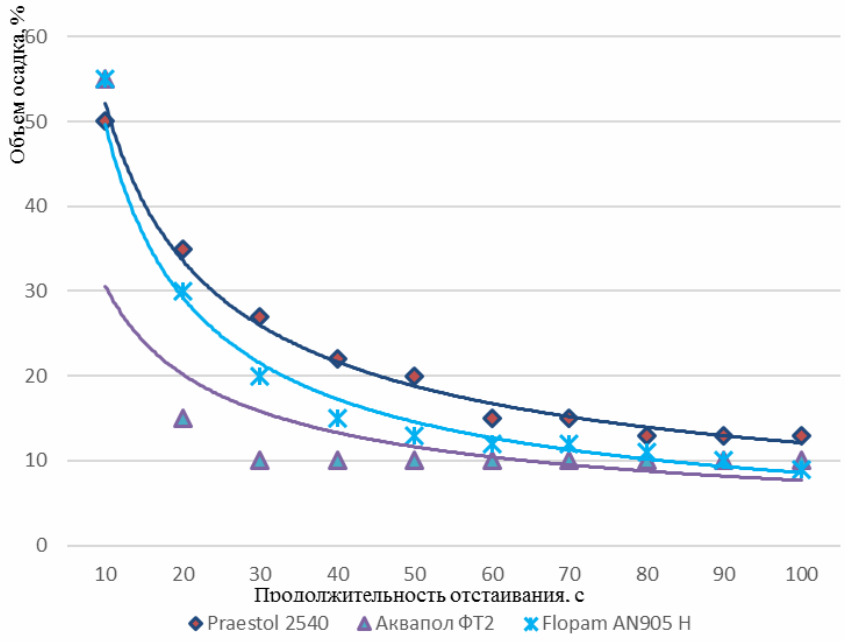


Рис. 1. График, характеризующий кинетику процесса отстаивания с применением оптимальной дозы различных флокулянтов

При перещелачивании (на 2 этапе нейтрализации подотвальных вод при доведении pH до 12) в сточные воды вводится избыточное количество гидроксида кальция, что приводит к значительному повышению жесткости воды. Для улучшения качества сточные воды поступают в узел рекарбонизации, вследствие чего pH среды снижается практически до нейтральной (pH = 7,5...8,0). Рекарбонизация ведется путем барботажа углекислым газом с интенсивностью 2 м^3 CO_2 на 1 м^3 стока в час в течение 5,0...5,5 мин. Окончание процесса рекарбонизации — при достижении требуемой реакции среды. В ходе рекарбонизации в сточных водах образуется карбонат кальция, который выпадает в осадок. На данном этапе потоки сточных вод смешиваются; в пруды рекарбонизации поступает смесь подотвальных и шахтных стоков.

Во всех пробах после каждого этапа обработки была определена концентрация цинка, меди и железа. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа на содержание цинка, меди и железа в обработанных стоках ГОК

Вид стоков	Концентрация загрязнителей, мг/дм^3								
	После усреднителей			После нейтрализации (при pH = 9)			После флокулирования		
	Zn^{2+}	Cu^{2+}	$Fe_{общ}$	Zn^{2+}	Cu^{2+}	$Fe_{общ}$	Zn^{2+}	Cu^{2+}	$Fe_{общ}$
Шахтная	27,5	2,28	45,0	0,090	0,017	0,44	0,041	0,013	0,300
Подотвальная	28,75	2,38	17,5	0,067	0,0087	0,07	0,026	0,008	0,035

Таким образом, экспериментальные исследования доказали эффективность очистки высокоминерализованных сточных вод горно-обогатительных комбинатов по предлагаемой технологии, основанной на разделении потоков в зависимости от минерализации и ступенчатой нейтрализации.

Доочистку обрабатываемой воды предлагается проводить на биоплато, заселенных высшими водными растениями (эйхорния, тростник обыкновенный, рогоз узколистный, осока дернистая) [8]. Для организации прудов-усреднителей, сооружений для нейтрализации и рекарбонизации, биоплато предлагается использовать природные и природно-техногенные ландшафты [13]. Качество очищенных стоков соответствует требованиям к сбросам в водоемы культурно-бытового значения и рыбо-хозяйственного по основным компонентам [14—16].

При необходимости получения воды высокого качества, например, для ее последующего использования, могут быть применены мембранные и термические методы очистки стоков [17].

В процессе очистки сточных вод по образуются два вида гипсовых осадков: полученные на первом этапе нейтрализации подотвальных и смеси шахтных и дебалансных сточных вод; на втором этапе нейтрализации (перещелачивании) подотвальных сточных вод. Для осадка, полученного на втором этапе нейтрализации, проведен анализ состава эмиссионным спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (табл. 4).

Таблица 4

Результаты анализа состава гипсового осадка

Номер	Определяемый параметр*	Результат анализа, % масс.
1	Al	1,384
2	As	<0,01
3	Ba	0,01228
4	Ca	10,5600
5	Cd	0,0113
6	Co	0,0186
7	Cr	<0,0003
8	Cu	0,609
9	Fe	3,437
10	K	0,075
11	Mg	10,1800
12	Mn	1,007
13	Na	0,142
14	Ni	0,009
15	Pb	0,005
16	S	6,9170
17	Si	1,582
18	Ti	0,0218
19	Zn	5,7680

* Приведены не все элементы, входящие в состав осадка, ввиду их малого процентного содержания.

Результаты анализа состава полученного осадка показывают, что основными компонентами являются соединения кальция и магния, серы, цинка, алюминия, железа; более 50 % общей массы осадка составляет вода.

Полученные гипсовые осадки хорошо фильтруются. В зависимости от сезона могут быть более железистыми, которые также хорошо фильтруется.

Эксперимент по обезвоживанию осадков показал целесообразность применения фильтр-пресса для обоих типов гипсовых осадков; после предварительного отбора выбраны различные фильтровальные ткани (ТЛФ-5, х/б Бельтинг, Tamfelt, арт. 56260). На основании экспериментальных данных по качеству фильтрата и обезвоженного осадка к применению рекомендуется фильтровальная ткань Tamfelt (Финляндия) [18]. После обезвоживания гипсовые осадки рекомендуется использовать в качестве добавки при получении строительного гипса.

При рекарбонизации образуется третий тип осадка, состоящий на 99 % из карбоната кальция. Представляет собой мелкокристаллический продукт, относится к хорошо фильтруемым осадкам.

Карбонатный осадок имеет выраженную кристаллическую структуру, хорошо обезвоживается без применений фильтров; пруд для рекарбонизации выполняется секционного типа, при разгрузке одной секции образующийся осадок обезвоживается в природных условиях и вынимается с помощью экскаваторов. Карбонатный осадок предлагается к применению в качестве добавки в производстве алебастра.

На основе проведенных исследований предложены варианты технологической схемы, учитывающие различный состав исходной воды; в основе лежат следующие процессы:

1. При концентрации сульфатов в исходной воде более 5000 мг/дм^3 предлагается ступенчатая нейтрализация: первый этап — с доведением pH до 9,0 и выделением гидроксидов металлов и гипса; второй этап – с доведением pH до 12,0 и выделением гипса (рис. 2), например, ОАО «Учалинский ГОК», ОАО «Башкирский медно-серный комбинат», ЗАО «Бурибаевский ГОК»). Для интенсификации процесса образования осадка при нейтрализации производится введение затравки из оборотного осадка на обоих этапах.

2. При концентрации сульфатов в исходной воде выше предела растворимости гипса, т. е. 1130 мг/дм^3, но менее 5000 мг/дм^3 ступенчатая нейтрализация не требуется, применяется только первый этап нейтрализации с доведением pH до 9,0 (рис. 3), например, ОАО «Гайский ГОК». Для интенсификации процесса образования осадка на этапе нейтрализации производится введение затравки из оборотного осадка.

3. В случае если содержание сульфатов в шахтных и подотвальных стоках менее 1130 мг/дм^3, разделение потоков не производится; нейтрализация выполняется в одну ступень (рис. 4), например, ООО «Березовское рудоуправление», КОО «Эрденет».

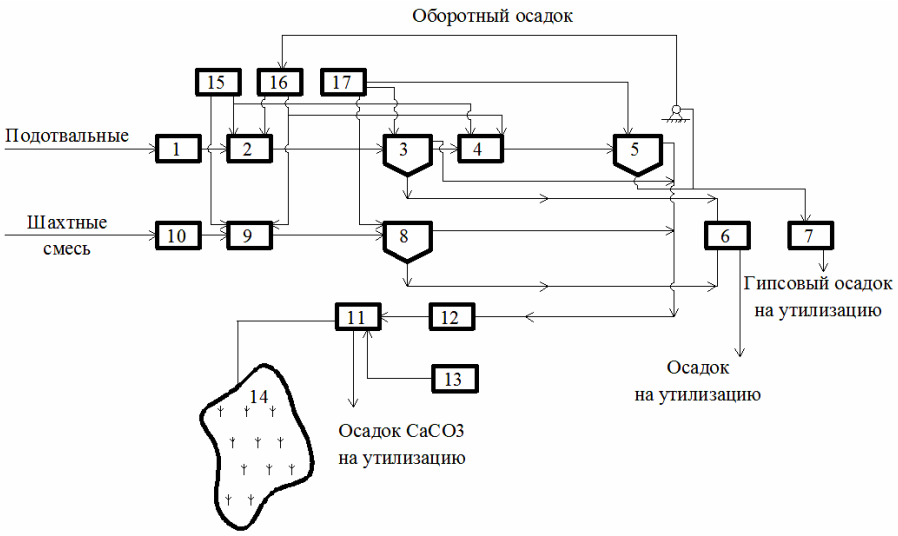


Рис. 2. Принципиальная блок-схема обработки сточных вод ГОК при содержании сульфатов в исходной воде более 5000 м/дм^3 с разделением потоков: *1* — Пруд-усреднитель подотвальных вод; *2* — узел нейтрализации подотвальных вод (пруд) первой ступени до pH = 9,0; *3*, *5*, *8* — отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; *4* — узел нейтрализации подотвальных вод (пруд) второй ступени до pH = 12,0; *6* — узел механического обезвоживания осадка первой ступени нейтрализации; *7* — узел механического обезвоживания гипсового осадка второй ступени нейтрализации; *9* — узел нейтрализации шахтных вод (пруд) до pH = 9,0; *10* — пруд-усреднитель шахтных вод; *11* — узел рекарбонизации (пруд); *12* — пруд-усреднитель потоков шахтных и подотвальных вод; *13* — узел подготовки и дозирования углекислого газа CO_2; *14* — узел доочистки (биоплато); *15* — узел приготовления и дозирования подщелачивающего реагента (CaO); *16* — узел усреднения и дозирования оборотного осадка; *17* — узел приготовления и дозирования флокулянта

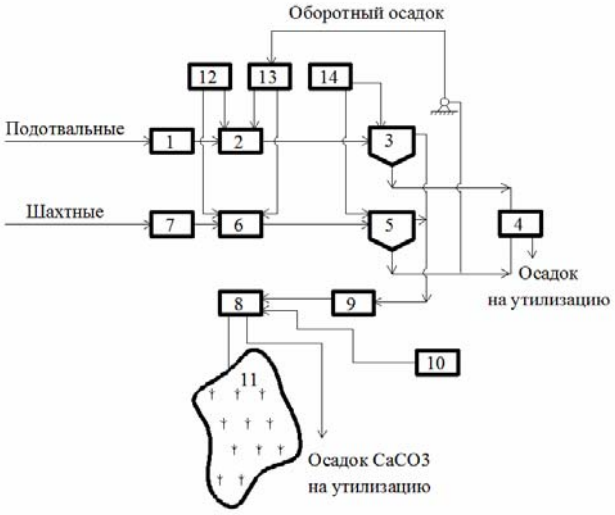


Рис. 3. Принципиальная блок-схема обработки сточных вод ГОК при среднем содержании сульфатов менее 5000 мг/дм^3 с разделением потоков: *1* — пруд-усреднитель подотвальных вод; *2* — узел нейтрализации подотвальных вод (пруд) до pH = 9,0; *3, 5* — отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; *4* —— узел механического обезвоживания осадков; *6* — узел нейтрализации шахтных вод (пруд) до pH = 9,0; *7* — пруд-усреднитель шахтных вод; *8* — узел рекарбонизации (пруд); *9* — пруд-усреднитель потоков шахтных и подотвальных вод; *10* — узел подготовки и дозирования углекислого газа CO_2; *11* — узел доочистки (биоплато); *12* — узел приготовления и дозирования подщелачивающего реагента (CaO); *13* — узел усреднения и дозирования оборотного осадка; *14* — узел приготовления и дозирования флокулянта

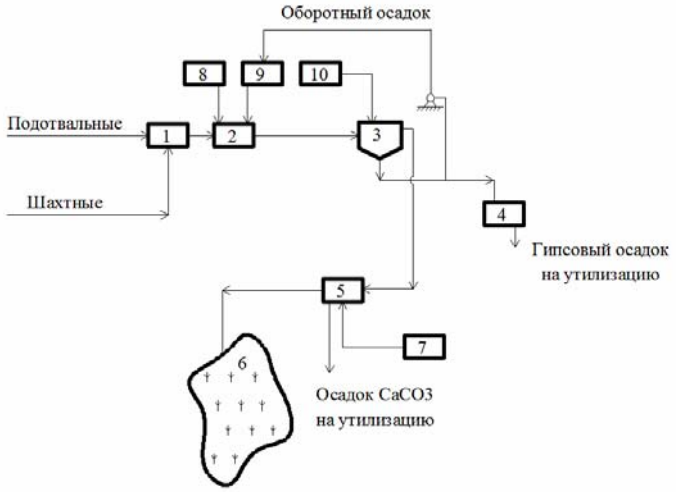


Рис. 4. Принципиальная блок-схема обработки сточных вод ГОК при среднем содержании сульфатов менее 5000 мг/дм^3, близкой по значению минерализации шахтных и подотвальных стоков: *1* — пруд-усреднитель подотвальных и смеси шахтных вод; *2* — узел нейтрализации (пруд) до pH = 9,0; *3* — отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; *4* — узел механического обезвоживания осадка; *5* — узел рекарбонизации (пруд); *6* — узел доочистки (биоплато); *7* — узел подготовки и дозирования углекислого газа CO_2; *8* — узел приготовления и дозирования подщелачивающего реагента (CaO); *9* — узел усреднения и дозирования оборотного осадка; *10* — узел приготовления и дозирования флокулянта

Таким образом, в работе приведены результаты исследований, направленных на совершенствование технологии очистки сточных вод ГОК от растворенных загрязняющих веществ (главным образом, сульфатов) и повышение надежности очистных сооружений комбинатов, улучшение экологической обстановки в горно-добывающих регионах (табл. 5).

Таблица 5

Результаты обработки сточных вод ОАО «Учалинский ГОК» по принятой технологии

Наименование ингредиента	Подотвальная вода (исх.)	Смесь шахтных и деб-х вод (исх.)	Подотвальная вода после отстаивания	Смесь шахтных и деб-х вод после отстаивания	Смесь стоков после рекарбонизации	Вода после биоплато*
Медь, мг/дм^3	30,1	0,85	0,05	0,05	0,05	0,001
Цинк, мг/дм^3	297,0	253,0	0,05	0,05	0,05	0,01
pH	2,65	5,6	11,0	11,0	8,5	8,0
Взвешенные вещества, мг/дм^3	83,3	230,2	10...15	10...15	5...10	5
Общая жесткость, °Ж	68,9	59,4	93,0	102,5	4,8	4,0
Кальций, мг/дм^3	713,4	820,4	1814,0	2012,0	64,0	50,0
Магний, мг/дм^3	404,9	235,0	30...35	25...35	20...25	20,0
Сульфаты, мг/дм^3	5362,3	2845,0	1120	1110	1120	500,0
Хлориды, мг/дм^3	70,5	72,2	70,5	61,0	58,0	50,0
Железо общее, мг/дм^3	196,1	33,6	0,3	0,3	0,2	0,1

* Ожидаемый эффект

Впервые проведены исследования по перещелачиванию и последующему кондиционированию стоков путем рекарбонизации, в результате чего удается снизить концентрацию растворенных сульфатов до предела растворимости гипса. Разработанная технология предполагает устройство основных сооружений на рельефе, что обуславливает потребность в больших производственных площадях для устройства биоплато, прудов-накопителей для проведения реакции нейтрализации, прудов-накопителей для отстаивания стоков после рекарбонизации, но исключает значительную часть капитального строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамов А. А., Леонов С. Б.* Обогащение руд цветных металлов. М.: Недра, 1991. 407 с.

2. *Селицкий Г. А., Уласовец Е. А., Ермаков Д. В.* Технологии очистки сточных вод горнорудных предприятий // Инновационные технологии в системах производственного водоснабжения: сб. статей. Екатеринбург, 2013. С. 32—48.

3. Geologic controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types / G. S. Plumlee, K. S Smith., M. R. Montour, W. H. Ficklin, E. L. Mosier // The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B. Case Studies and Research Topics: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology. 1999. Vol. 6B. Pp. 373–432.

4. *Doll B.* Mine water treatment solutions for discharge and re-use // Filtration. Separation. Solution. 2012. Pp. 1—7.

5. *Вдовина И. В.* Формирование состава шахтных вод при разработке медно-цинковых колчеданных месторождений (на примере Учалинского ГОК) // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2008): сб. научных статей V-й Международной науч.-технич. конф. Том I. Уфа: УГАТУ, 2008. С. 236—240.

6. *Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Вдовина И. В.* Пути формирования сточных вод горно-обогатительных предприятий по переработке медно-цинковых руд и их влияние на малые реки // Актуальные проблемы в науке и технике: сборник трудов 4-й Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. Уфа: Диалог, 2009. С. 59—63.

7. Waste Water Reuse / Shao E., Wei J., Yo A., Levy R. // Water in Mining Conference Perth. WA, 2009. September. Pp. 15—17.

8. *Вдовина И. В.* Снижение антропогенной нагрузки на малые реки в зоне влияния горнорудного промышленного предприятия: на примере Республики Башкортостан: автореф. дис… канд. техн. наук. Уфа, 2009. 24 с.

9. *Мустафин А. Г., Сабитова З. Ш., Шарипов Т. В.* Экологические проблемы горнорудного региона Башкирского Зауралья и пути их решения // Вестник Башкирского университета. 2011. Т. 16. № 1. С. 43—46.

10. *Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Красногорская Н. Н., Вдовина И. В.* Анализ технологических решений по очистке сточных вод горно-обогатительных комбинатов // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 7. С. 43—48.

11. *Селицкий Г. А.* Технологическая схема очистки карьерных и подотвальных вод // Экология производства. 2005. № 9. С. 83—87.

12. *Сальникова Е. О., Гофенберг И. Ф., Туранина Е. Н.* Очистка сточных вод от сульфатионов с помощью извести и оксосульфата алюминия // Химия и технология воды. 1992. Т. 14. № 2. С. 152—157.

13. *Вдовина И. В.* Исследование способности микроорганизмов к извлечению тяжелых металлов из водных растворов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2008): сборник научных статей V Международной науч.-технич. конф. Том I. Уфа: УГАТУ, 2008. С. 256—260.

14. *Healy A., Cawleyb M.* Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland // J. Environ. Quality. 2002. № 31. Pp. 1739—1747.

15. *Dunbabin J. S., Bowner K. H.* Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals // Sci. Total. Environ. 1992. 111. № 2/3. Pp. 56—60.

16. *Vymazal J.* Constructed Wetlands for Wastewater Treatment // Water. 2010. № 2. Pp. 530—549.

17. Mine water treatment by membrane filtration processes / A. Riegera, P. Steinbergera, W. Pelzb, R. Hasenedera, G. Hrtela // Experimental investigations on applicability Desalination and Water Treatment. 2009. Vol. 6. Pp. 1—3.

18. *Аксенов В. И., Бондаренко Е. А., Валенцева Т. А.* Обезвоживание осадков станции нейтрализации Учалинского ГОКа // Вода: проблемы и решения. Сборник докладов Всероссийской НПК. Вып. 8. Тюмень: РИО ВПО ТюмГАСУ, 2011. С. 56—60.

© Вараева Е. А., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Вараева Е. А. Совершенствование технологии очистки сточных вод горно-обогатительных комбинатов от сульфатов и тяжелых металлов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 102—113.

Об авторе:

Вараева Елена Александровна — аспирант кафедры водного хозяйства и технологии воды, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Российская Федерация, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, bblk6jiy4a@bk.ru

E. A. Varaeva

IMPROVEMENT OF MINE AND UNDERSPOIL DUMP WATER TREATMENT TECHNOLOGY FROM SULPHATES AND HEAVY METALS

The article describes wastewater treatment technology for mining processing plants that allows to reduce the concentration of heavy metal ions and sulphates to maximum concentration limit. Laboratory researches results are given.

K e y w o r d s: mining processing plant, mine and underspoil dump water, wastewater treatment, neutralization, heavy metal ions, sulphates.

REFERENSES

1. Abramov A. A., Leonov S. B. *Obogashchenie rud tsvetnykh metallov* [Enrichment of nonferrous metal ores]. Moscow, Nedra Publ., 1991. 407 p.

2. Selitskii G. A., Ulasovets E. A., Ermakov D. V. [Treatment technologies for sewage of mining enterprises]. *Innovatsionnye tekhnologii v sistemakh proizvodstvennogo vodosnabzheniya: sb. statei* [Innovative technologies in systems of industrial water supply. Set of articles]. Ekaterinburg, 2013. Pp. 32—48.

3. Plumlee G. S., Smith K. S., Montour M. R., Ficklin W. H., Mosier E. L. Geologic controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types. Filipek L.H., Plumlee G.S. (eds.). *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B. Case Studies and Research Topics: Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*, 1999, vol. 6B, pp. 373–432.

4. Doll B. Mine water treatment solutions for discharge and re-use. *Filtration. Separation. Solution*, 2012, pp. 1—7.

5. Vdovina I. V. [Formation of mine water composition when developing copper-zinc pyrites ore bodies (by the example of the Uchalinskii mining and processing complex)]. *Nauka, obrazovanie, proizvodstvo v reshenii ekologicheskikh problem (Ekologiya-2008): sbornik nauchnykh statei V-i Mezhdunarodnoi nauch.-tekhnich. konf. Tom I* [Science, education, production at the solution of environmental problems (Ecology-2008). Set of scientific papers of the V Int. Sc.-Tech. Conf. Vol. I]. Ufa, USATU, 2008. Pp. 236—240.

6. Safarova V. I., Shaidulina G. F., Vdovina I. V. [Ways of formation of sewage of copper-zinc ore mining and processing enterprises and their impact on small rivers]. *Aktual'nye problemy v nauke i tekhnike: sbornik trudov 4-i Vserossiiskoi zimnei shkoly-seminara aspirantov i molodykh uchenykh* [Current problems in science and technology. Set of works of the 4th All-Russian Winter Workshop of Postgraduate Students and Young Scientists]. Ufa, Dialog Publ., 2009. Pp. 59—63.

7. Shao E., Wei J., Yo A., Levy R. Waste Water Reuse. *Water in Mining Conference Perth. WA*, 2009. September. Pp. 15—17.

8. Vdovina I. V. *Snizhenie antropogennoi nagruzki na malye reki v zone vliyaniya gornorudnogo promyshlennogo predpriyatiya: na primere Respubliki Bashkortostan: avtoref. dis… kand. tekhn. nauk* [Decrease in anthropogenic load on small rivers in the area of impact of a mining industrial enterprise: by the example of the Republic of Bashkortostan. Cand. Eng. Sci. Dis.]. Ufa, 2009. 24 p.

9. Mustafin A. G., Sabitova Z. Sh., Sharipov T. V. [Ecological problems of mining region of Bashkir Trans-Urals and ways of their solving]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University], 16(1), pp. 43—46.

10. Safarova V. I., Shaidulina G. F., Krasnogorskaya N. N., Vdovina I. V. **[**The analysis of mining wastewater treatment technological decisions]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety], 2009, no. 7, pp. 43—48.

11. Selitskii G. A. [Technological scheme of purification of quarry and subdump waters]. *Ekologiya proizvodstva* [Industrial Ecology], 2005, no. 9, pp. 83—87.

12. Sal'nikova E. O., Gofenberg I. F., Turanina E. N. [Sewage treatment from sulfate ions with the help of lime and aluminium sulfate]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], 1992, 14(2), pp. 152—157.

13. Vdovina I. V. [Study of the ability of microorganisms to extract heavy metals from water solutions]. *Nauka, obrazovanie, proizvodstvo v reshenii ekologicheskikh problem (Ekologiya-2008): Sbornik nauchnykh statei V Mezhdunarodnoi nauch.-tekhnich. konf. Tom I* [Science, education, pro-

duction at the solution of environmental problems (Ecology-2008). Set of scientific papers of the V Int. Sc.-Tech. Conf. Vol. I]. Ufa, USATU, 2008. Pp. 256—260.

14. Healy A., Cawleyb M. Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland. *J. Environ. Quality*, 2002, no. 31, pp. 1739—1747.

15. Dunbabin J. S., Bowner K. H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals. *Sci. Total. Environ*, 1992, 111, no. 2/3, pp. 56—60.

16. Vymazal J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 2010, no. 2, pp. 530—549.

17. Riegera A., Steinbergera P., Pelzb W., Hasenedera R., Hrtela G. Mine water treatment by membrane filtration processes. *Experimental investigations on applicability Desalination and Water Treatment*, 2009, vol. 6, pp. 1—3.

18. Aksenov V. I., Bondarenko E. A., Valentseva T. A. [Dehydration of sediments of the inactivation center of the Uchalinsky mining and processing complex]. *Voda: problemy i resheniya. Sbornik dokladov Vserossiiskoi NPK. Vyp. 8* [Water: Problems and Solutions. Set of the reports of the All-Russian Sc.-Pr. Conf. Iss. 8]. Tyumen, EPU HPE TGASU, 2011. Pp. 56—60.

For citation:

Varaeva E. A. [Improvement of mine and underspoil dump water treatment technology from sulphates and heavy metals]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 102—113.

About author:

Varaeva Elena Aleksandrovna — Postgraduate student of Water Services and Technology Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. 19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation, bblk6jiy4a@bk.ru

УДК 532.542

В. А. Каныгин

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

БЕЗНАПОРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Рассмотрено течение безнапорного потока вязкопластичной жидкости. На основе расчетной схемы турбулентного течения ньютоновской жидкости сделан анализ влияния реологических свойств среды на профиль скорости в пограничном слое.

Ключевые слова: вязкопластичная жидкость, безнапорный поток, турбулентное течение, эффективная вязкость, логарифмический профиль скорости.

Безнапорное течение вязкопластичных сред часто встречается в природе и технике. В качестве примеров таких течений можно привести течение селевых потоков в горной местности, течение пульпы в лотках обогатительных фабрик и т. д. В подавляющем большинстве случаев течение происходит в турбулентном режиме в руслах с различной шероховатостью. Определение расхода, скорости течения таких потоков необходимо для расчета динамического воздействия на преграды, оценки влекущей силы, абразивного воздействия на основание и т. д.

В настоящей работе рассматривается турбулентное течение жидкости, обладающей вязкопластичными свойствами, в открытом русле, ширина которого значительно превышает глубину, без учета влияния шероховатости. Течение рассматривается как движение пограничного слоя на наклонной поверхности [1, 2].

Уравнение движения ньютоновской жидкости в пограничном слое имеет вид [1]

$$\left(\mu + \mu_{\text{Т}}\right)\frac{du}{dy} = \tau, \tag{1}$$

где μ — молекулярная вязкость; $\mu_{\text{Т}}$ — турбулентная вязкость; $\frac{du}{dy}$ — градиент скорости; τ — касательное напряжение, не зависящее от y.

Введение реологических свойств в модель осуществляем согласно разработанной ранее методике [3, 4], предполагающей, что толщина вязкого подслоя мала по сравнению с глубиной потока, следовательно, напряжения сдвига в нем и эффективная вязкость жидкости практически равны их значениям на стенке [5].

Запишем осредненное уравнение турбулентного течения вязкопластичной жидкости в пограничном слое. Начало координат выберем на дне русла:

$$\mu_{\text{эф}}\frac{du}{dy} + \tau_{\text{Т}} = \tau, \tag{2}$$

где $\mu_{\text{эф}}$ — эффективная вязкость; $\tau_{\text{Т}}$ — турбулентные касательные напряжения.

Турбулентные напряжения, согласно гипотезе, выдвинутой французским ученым Ж. Буссинеском, представим в виде

$$\tau_{\text{Т}} = \mu_{\text{Т}} \frac{du}{dy}, \tag{3}$$

где $\mu_{\text{Т}}$ — турбулентная вязкость.

Эффективная вязкость вязкопластичной жидкости для условий простого сдвига находится по формуле

$$\mu_{\text{эф}} = \frac{\tau_{\text{о}}}{\left(du/dy\right)_{\text{ст}}} + \mu_{\text{р}}. \tag{4}$$

Следует отметить, что градиент скорости $du/dy_{\text{ст}}$, входящей в эффективную вязкость, следует брать при его значении на стенке. Турбулентная вязкость, как показано в [1], равна

$$\mu_{\text{Т}} = \rho l U_*, \tag{5}$$

где l — длина пути смешения; $U_* = \sqrt{\tau/\rho}$ — динамическая скорость; ρ — плотность жидкости.

С учетом (3) уравнения движения запишутся следующим образом:

$$\left(\mu_{\text{эф}} + \mu_{\text{Т}}\right)\frac{du}{dy} = \tau. \tag{6}$$

Поделив (6) на ρ, получим уравнение (6) движения в виде

$$\left(\nu_{\text{эф}} + \nu_{\text{Т}}\right)\frac{du}{dy} = U_*^2 \tag{7}$$

где $\nu_{\text{эф}} = \mu_{\text{эф}}/\rho$ — эффективная кинематическая вязкость.

Приведем уравнение (7) к безразмерному виду

$$\left(1 + \frac{U_* l}{\nu_{\text{эф}}}\right)\frac{d\dfrac{u}{U_*}}{d\dfrac{yU_*}{\nu_{\text{эф}}}}. \tag{8}$$

На достаточно больших расстояниях от стенки вклад турбулентной составляющей для аномально-вязкой жидкости является основным, а значит на больших расстояниях от стенки единицей в скобках уравнения (8) можно пренебречь по сравнению с $U_* l/\nu_{эф}$ [1] и уравнение движения для ядра потока запишется следующим образом:

$$\frac{d\left(u/U_*\right)}{d\eta} = \frac{1}{U_* l/\nu_{\text{эф}}}. \tag{9}$$

Экспериментальные данные по измерению профиля скорости турбулентного потока вязкопластичной жидкости показывают, что профиль скорости описывается логарифмической кривой, только в отличие от ньютоновского, профиль скорости вязкопластика несколько более уплощен [6]. Это позволяет для описания картины течения воспользоваться результатом, полученным академиком М. Д. Миллионщиковым для пограничного слоя ньютоновской жидкости [1]. Уравнение движения в пограничном слое выглядит следующим образом:

$$\left[1+a\left(\eta_{эф}-\delta\right)\right]\frac{du/U_*}{d\eta_{эф}}=1, \tag{10}$$

где $a = 0$ при $\eta_{эф} < \delta_{эф}$; $a = \text{const} \neq 0$ при $\eta_{эф} > \delta_{эф}$;

$$\delta_{эф}=\frac{\delta_0 U_*}{\nu_{эф}} \text{ — безразмерная толщина ламинарного подслоя;} \tag{11}$$

$$\eta_{эф}=\frac{yU_*}{\nu_{эф}} \text{ — безразмерная координата.} \tag{12}$$

Интегрируя это уравнение и учитывая условие прилипания к стенке имеем следующее:

$$\text{при } \eta_{эф} > \delta_{эф} \quad \frac{u}{U_*}=\frac{1}{a}\ln\left[1+a\left(\eta_{эф}-\delta_{эф}\right)\right]+\text{const}; \tag{13}$$

$$\text{при } \eta_{эф} > \delta_{эф} \quad \frac{u}{U_*}=\eta_{эф}.$$

Рассмотрим структуру коэффициента эффективной вязкости

$$\mu_{эф}=\frac{\tau_o}{\gamma_{ст}}+\mu_p, \tag{14}$$

где $\gamma_{ст}=\left(\frac{d_u}{d_y}\right)_{ст}$ — градиент скорости на стенке для условий простого сдвига

$$\gamma_{ст}=\frac{\tau_{ст}-\tau_o}{\mu_p} \tag{15}$$

или

$$\mu_{эф}=\frac{\tau_o}{\left(\tau_{ст}-\tau_o\right)/\mu_p}+\mu_p; \tag{16}$$

$$\mu_{эф}=\frac{\beta}{\left(1-\beta\right)}\mu_p+\mu_p, \tag{17}$$

где $\beta=\frac{\tau_o}{\tau_{ст}}$.

То есть

$$\mu_{эф} = \frac{1}{1-\beta}\mu_{р}. \quad (18)$$

Соответственно кинематическая вязкость равна

$$\nu_{эф} = \frac{1}{(1-\beta)}\nu_{р}. \quad (19)$$

Безразмерные координата и толщина вязкого подслоя равны

$$\eta_{эф} = \eta_{р}(1-\beta); \;\; \delta_{эф} = \delta_{р}(1-\beta). \quad (20)$$

В результате окончательно имеем профиль скорости следующий:

$$\frac{u}{U_*} = \eta_{эф} \text{ при } 0 \le \eta_{эф} < \delta_{эф}; \quad (21)$$

$$\frac{u}{U_*} = \frac{1}{a}\ln\left[1 + a\left(\eta_{эф} - \delta_{эф}\right)\right] + \delta_{эф} \text{ при } \eta_{эф} \ge \delta_{эф};$$

$$\eta_{эф} = \eta_{р}(1-\beta), \;\; \eta_{р} = \frac{yU_*}{y_p};$$

$$\delta_{эф} = \delta_{р}(1-\beta), \;\; \delta_{р} = \frac{\delta_{о}U_*}{\nu_{р}};$$

$$\beta = \tau_{о} / \tau_{ст}; \;\; a = 0{,}39; \;\; \delta_{p} = 7{,}8.$$

Выводы. Поскольку соотношение $\tau_{о} / \tau_{ст} = \beta$ очевидно очень мало, то величина $(1-\beta)$ весьма близко приближается к 1. Отсюда следует, что эффективная вязкость несколько больше пластической, то есть

$$\mu_{эф} = \frac{1}{1-\beta}\mu_{р}. \quad (22)$$

Итоговые соотношения показывают, что для расчета пограничного слоя вязкопластичной жидкости можно применять соотношения для ньютоновской жидкости с поправкой $(1-\beta)$ для безразмерной координаты и толщины вязкого подслоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Миллионщиков М. Д.* Турбулентное течение в пограничном слое и в трубах. М.: Наука, 1965. 50 с.

2. *Чоу В. Т.* Гидравлика открытых каналов / пер. с англ. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.

3. *Каныгин В. А.* Турбулентное течение нелинейновязкопластичной жидкости в шероховатых трубах // Техника и технология. 2008. № 3. С. 77—82.

4. *Каныгин В. А.* Транспортирование бетонных смесей в шероховатых трубах при турбулентном режиме течения // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы второй Международной науч.-практич. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. Ростов/н Д, 2002. 397 с.

5. *Хабахпашева Е. М.* О гидродинамическом сопротивлении и теплообмене при турбулентном течении структурновязких жидкостей // Инженерно-физический журнал. 1966. Т. 11. № 2. С. 143—147.

6. *Повх И. Л., Болонов Н. И., Эйдельман А. Б.* Возникновение и развитие турбулентности при движении дисперсной системы в круглой трубе // Инженерно-физический журнал. 1974. Т. 26. № 5. С. 901—907.

© *Каныгин В. А., 2016*

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Каныгин В. А. Безнапорное течение вязкопластичной жидкости // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 114—118.

Об авторе:

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

V. A. Kanygin

FREE FLOW OF BINGHAM FLUID

The authors consider free flow of bingham fluid. On the basis of the design diagram for turbulent flow of Newtonian fluid the analysis of the impact of rheological properties of the environment on the velocity profile in the boundary layer was made.

K e y w o r d s: bingham fluid, free flow, turbulent flow, effective viscosity, logarithmic velocity profile.

REFERENSES

1. Millionshchikov M. D. *Turbulentnoe techenie v pogranichnom sloe i v trubakh* [Turbulent flow in a boundary layer and pipes]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 50 p.

2. Chou V. T. *Gidravlika otkrytykh kanalov* [Hydraulics of open channels]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1969. 464 p.

3. Kanygin V. A. [Turbulent flow of nonlinear viscous-plastic fluid in rough pipes]. *Tekhnika i tekhnologiya* [Equipment and technology], 2008, no. 3, pp. 77—82.

4. Kanygin V. A. [Transportation of concrete mixtures in rough pipes at the turbulent mode of flow]. *Beton i zhelezobeton v tret'em tysyacheletii: materialy vtoroi Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf.* [Concrete and reinforced concrete in the third millennium. Proc. of the Second In. Sc.-Pr. Conf.]. Rostov-on-Don, 2002. 397 p.

5. Khabakhpasheva E. M. [Hydrodynamic resistance and heat exchange at the turbulent flow of structurally viscous fluids]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal* [Engineering and Physics Journal], 1966, 11(2), pp. 143—147.

6. Povkh I. L., Bolonov N. I., Eidel'man A. B. [Formation and development of turbulence at the motion of disperse system in a circular pipe]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal* [Engineering and Physics Journal], 1974, 26(5), pp. 901—907.

For citation:

Kanygin V. A. [Free flow of bingham fluid]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 114—118.

About author:

Kanygin Vladimir Alekseevich — Candidate of Engineering Science, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 712.25(477.62)

А. В. Антюфеев, И. М. Клименко

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ КРАТКОВРЕМЕННОГО ОТДЫХА В СТРУКТУРЕ ГОРОДА С ПОЗИЦИИ ОСНОВНЫХ КОНЦЕПЦИЙ РАЗВИТИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (на примере г. Донецка)

Приведены урбанизационные и урбоэкологические процессы и их влияние на организацию кратковременного отдыха населения в структуре архитектурно-ландшафтной среды города. Проведен градо-экологический анализ, на основе которого предложены меры и мероприятия по улучшению качества развития урбанизированных территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: урбоэкология, урбанизированные города и территории, кратковременный отдых, городская среда.

Современный город — сложная, многообразная форма территориальной организации жизни общества и зона, в которой происходит активный процесс преобразования природной среды. Главная роль в этом процессе отводится явлению урбанизации, являющейся основной причиной вытеснения естественной природной составляющей из городской среды. Урбанизация приводит к усложнению и нарушению пространственных, нравственных, эстетических связей горожан с природой. Донецкая область является одной из наиболее высоко урбанизированных в Украине. Показатель плотности городского населения в городе Донецке составляет 1742 человека на квадратный километр. При этом развитие городских ландшафтов связано с превалированием в них техногенной составляющей, являющейся основой техногенного покрова и обладающей свойством генерировать искусственные потоки вещества, энергии, информации. Смягчить последствия урбанизационных процессов позволит сохранение и дальнейшее развитие ландшафтно-рекреационной зоны города. Согласно Джеймсу Корнеру, знаменитому американскому ландшафтному архитектору, «...учитывая сложность быстрой урбанизации мегаполисов, продолжать противопоставлять природу и культуру, природу и город грозит риском полного отказа архитектурного и планировочного искусства сделать какой-либо реальный или значительный вклад в будущее городского формирования» [1]. Рациональная ландшафтная структура должна обеспечить комфортность, эстетическое восприятие для горожан и соответствовать санитарно-гигиеническим нормам градостроительства.

Наиболее часто под урбанизацией понимают рост городов и городского населения. Более полно урбанизацию можно охарактеризовать как многогранный глобальный социально-экономический процесс, связанный с резко усилившимся в эпоху научно-технической революции развитием и концентрацией производительных сил и форм социального общения с распространением городского образа жизни на всю сеть населенных мест [2]. Сосредоточение населения Земли в огромных городах нарушает равновесие планеты. Можно привести мнение Ф. Л. Райта, считавшего, что «современная цивилизация может не только пережить город, но и выиграть от его гибели» [3]. Города порождают проблемы отдыха в природе, а отдых в природе, обуслов-

ленный потребностями современного человека в комфорте, делает, в свою очередь, необходимой урбанизацию зон отдыха.

Важнейшим материальным результатом современной урбанизации является крупная городская агломерация, скопление городских поселений, объединенных интенсивными многообразными связями в сложную динамическую систему [4].

Городские агломерации, урбанизированные районы — это ареалы глубоко измененной антропогенной деятельностью природы, своеобразные фокусы все усиливающейся человеческой деятельности, территории, где особенно интенсивно происходит замещение естественных биогеоценозов урбо- и агроценозами [4, 5]. Донецко-Макеевская агломерация Донецкой области с населением 1 700 000 чел. — третья по величине агломерация в Украине. Экологические характеристики урбанизированного района при высокой степени сближенности ядер агломераций между собой значительно хуже, чем у отдельной агломерации, вследствие эффекта наложения антропогенных нагрузок на одну и ту же территорию.

Город — чрезвычайно зависимая экосистема. Все экосистемы — открытые образования, но города — сверхоткрытые. Они полностью зависят от окружения, в чем проявляется экологический паразитизм урбанизированных образований. Город не может прокормить свое население, он «дышит чужим воздухом», «пьет чужую воду» и одновременно с этим выбрасывает в биосферу большое количество продуктов своего метаболизма. Помимо потребления природных ресурсов и энергии, стягиваемых с обширных пространств, современный город производит огромное количество отходов, загрязнений [4]. Пагубное влияние урбанизированных территорий проявляется в трех основных формах:

понижение архитектурно-художественной ценности рекреационной среды;

экологический кризис, загрязненность воздушного и водного бассейнов, почв;

деградация очагов естественной природы, рекреационные нагрузки на ландшафтную среду (вытаптывание, создание пожароопасной ситуации, физическое уничтожение).

Экологическая ситуация в городе Донецке очень сложная: огромная концентрация крупных промышленных предприятий обеспечивает жителей рекордными в Украине выбросами вредных веществ на душу населения, объемы выбросов в десятки раз превышают предельно допустимые. Так, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, размещение отходов, сбросы загрязняющих стоков в водоемы составляют соответственно 31, 30 и 25 % от общеукраинских. Именно здесь сосредоточено 55,5 % промышленных токсичных отходов всей страны. Несмотря на то что количество выбросов на современной территории Украины сократилось на 14,7 %, по данным Государственной службы статистики (Госстат), отрасли, занимающиеся поставками электроэнергии, газа, пара и кондиционированного воздуха, все еще являются лидерами по количеству загрязнений — на них приходится 1 млн 174,4 тыс. т веществ (свыше 41% от общей суммы выбросов). На втором месте — перерабатывающая промышленность (941,1 тыс. т, 32,9 % от общей суммы), на третьем — добывающая промышленность и разработка карьеров (490,2 тыс. т, 17,1 %). Больше всего выбросов зафиксировано в Донецкой (913,8 тыс. т), Днепропетровской (724,5 тыс. т) и Ивано-Франковской

(223,9 тыс. т), меньше всего — в Черновицкой (3,2 тыс. т) и Волынской областях (4,4 тыс. т) [6].

Основными загрязнителями атмосферы города остаются металлургические, угледобывающие и коксохимические предприятия и передвижные источники загрязнения (автомобильный, железнодорожный, авиационный, водный транспорт и производственная техника). Основными веществами, загрязняющими атмосферный воздух Донецкой области, являются: пыль, метан, диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид, фенол, аммиак, тяжелые металлы (рис.).

Процентное соотношение выбросов в атмосферу на территории Украины за 2015 г.

Анализ статистических данных показывает, что за последние 10 лет общие валовые выбросы вредных веществ от промышленности Донецкой области уменьшились и достигли наименьших показателей в период кризиса в 2009 г., в то время как объем выбросов автотранспорта существенных изменений не претерпел. На фоне постоянного роста количества транспортных средств на улицах города повышается техногенная нагрузка на природную среду, что приводит к подавлению естественных процессов почвообразования и, как следствие, к дальнейшей деградации экосистемы города. Выбросы автотранспорта являются одним из основных источников накопления в окружающей среде свинца с последующей интоксикацией живых организмов, в том числе и организма человека.

Очень опасными загрязнителями воздуха в регионе являются выбросы веществ, образующихся от сжигания угля, при работе металлургических заводов, в бытовом мусоре — в аккумуляторах, измерительных приборах, отработанных лампах, медицинской аппаратуре. Исследования показали, что 50 % почв г. Донецка содержат 26 элементов загрязнителей в средней, высокой и чрезвычайно высокой концентрации, а 15 % городской территории опасно для проживания согласно существующим санитарными нормами [5].

В области действует программа мониторинга окружающей среды в реальном времени. Мониторинг загрязнения атмосферы в городе ведется по следующим вредным веществам: пыль, диоксид и оксид азота, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид, фенол, аммиак, тяжелые металлы, бензапирен. Согласно статистическим данным, существующее количество выбросов вредных веществ обеспечивается 170 предприятиями, однако основная доля выбросов (92...94 %), приходится:

на АП «Шахта имени Засядько»;

10 шахт ГП «ДУЭК»;

ККП «Донецкгорводоканал»;
ЗАО «Донецксталь — металлургический завод»;
ОАО «Донецкий металлургический завод»;
ЗАО «Металлургический завод «Истил»;
ОАО «Донецккокс»;
ГПП «Укропромводчермет».

Наиболее частыми заболеваниями жителей региона являются болезни верхних дыхательных путей, так как в этом проявляется ответная реакция организма на воздействие комплекса факторов, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха. Кроме того, загрязнение окружающей среды способствует распространению карантинных трав (амброзия, повилика полевая, паслен линейнолистный и трехцветный, горчак ползучий, бузинник пазушный).

В то же время в области недостаточны и истощены природные ресурсы. Леса занимают только 7 % ее территории против 17 % по Украине. Обеспечение речным стоком на одного жителя в 5 раз меньше, чем в целом по Украине, обеспеченность сельскохозяйственными угодьями — меньше в два раза. Распашка угодий составляет 80 %. Почва эрозирована на целых 70 %. Из 247 малых рек области 230 деградированы. Постоянный источник техногенной нагрузки на один квадратный километр территории области с разными опасными факторами в 5...7 раз выше средне украинских. Проблемы охраны лесов Донецкой области связаны с их рекреационным использованием. Потребность Донетчины в рекреационных ресурсах обеспечивается лишь на 13,6 %. В связи с экологическим упадком Южной рекреационной зоны (Приазовье) основная нагрузка ложится на леса Северной зоны (Придонцовье) и пригородные леса, создавая угрозу для них. Рекреационные нагрузки характеризуются крайней неравномерностью (от полного отсутствия рекреантов до 400 чел./га).

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, водную среду, загрязнения почвы приводят к снижению уровня жизни населения и влияют на качество питания. В результате попадания в организм избыточного количества химических веществ нарушается нормальное функционирование человеческого организма, так как много вредных для человеческого организма соединений имеет способность накапливаться в тканях, прежде всего в костях. В последнее десятилетие наблюдается стабильное снижение численности населения как в Донецкой области, так и по Украине в целом, и экологическое состояние окружающей среды играет в этом не последнюю роль.

Наряду с негативными факторами, в регулируемой и контролируемой урбанизации заложены огромные возможности планомерного преобразования природной среды, реальная возможность конструировать биогеоценозы с заранее заданными свойствами, необходимыми для их устойчивого развития в условиях урбанизированной среды. Такая возможность может быть реализована при организации объектов кратковременного отдыха населения. В данных объектах природные элементы являются технологической составляющей и позволяют воссоздать те компоненты естественной среды обитания, которые были утеряны в процессе урбанизации. В объектах кратковременной рекреации в структуре ландшафтно-рекреационных зон города необходимость взаимодействия архитектуры и ландшафта заложена априорно. Организация кратковременного досуга в виде архитектурно-ландшафтных систем, в которых разнородные начала взаимопроникают и дополняют друг

друга с единой целью улучшения качества урбанизированной среды, позволяет поддерживать экологическое равновесие в городе. Под экологическим равновесием в урбоэкологии следует понимать такое состояние природной среды урбанизированного района, городской агломерации или отдельного города, при котором обеспечивается саморегуляция, надлежащая охрана и воспроизводство основных ее компонентов — атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенно-растительного покрова, животного мира. Достижение экологического равновесия связано с научно обоснованным соотношением и взаимно увязанным рациональным размещением различных территорий — от урбанизированных до охраняемых природных ландшафтов [7]. Оптимизация взаимодействия урбанистических структур и окружающей среды с точки зрения обеспечения в них экологического равновесия в большой степени зависит от характера пространственной организации ландшафтно-рекреационной системы, соотношения в конкретных условиях зон с различным экологическим и хозяйственным режимам. Донецк исторически складывался как хорошо озелененный город со значительным количеством зон кратковременного отдыха. На сегодняшний день существует возможность выявления достаточного экологического потенциала, позволяющего реализовать и поддерживать в будущем рациональную в экологическом отношении территориальную структуру, которую можно назвать экологическим каркасом города, в основе которого будет лежать система организованной кратковременной рекреации.

Теоретически этот важный вопрос достаточно глубоко разработан. Такие понятия, как «природный каркас района», «экологическая ориентация в организации территории», «новая экологическая поляризации» и другие появились в результате стремления не только обеспечить охрану редких видов растений, животных и целостных ландшафтов, но и уравновесить негативные последствия индустриализации и урбанизации созданием в непосредственной близости от городских образований территорий-противовесов с различным градостроительным и экологическим режимами. В черте города эту функцию выполняют объекты кратковременной рекреации, которые при правильной их организации, могут являться флагманами экологического подхода к архитектуре.

Современные представления о ландшафте формируются на фоне социальных перемен, изменения картины мира и развития новых научных направлений (синергетики, глобалистики, виртуалистики). Противоречивость ситуации, сложившейся в мире на рубеже веков, заключается в необходимости, с одной стороны, предоставить людям новые экономические возможности, а с другой стороны — снизить нагрузку на окружающую среду и уменьшить социальное неравенство [8]. Развитие человечества идет под знаком всеобщей экологизации образа жизни людей в развитых и развивающихся странах мира. В качестве альтернативы безоглядному техническому прогрессу и гипертрофированному экономическому развитию сегодня выступают две основные концепции, определяющие дальнейшее развитие архитектуры — «Устойчивое развитие» и «Становление постиндустриального общества». В связи с общепризнанной необходимостью перехода к концепции устойчивого городского развития (Sustainable Urban Development) возрастает значение оптимальной ландшафтной организации территории города [2], включая использование кратковременной рекреации в структуре ландшафтно-рекреационных зон для совершенствования качеств городской среды.

Для города Донецка также была разработана стратегия устойчивого развития до 2020 г., которой предусмотрено расширение зеленого каркаса города на 100 га и эффективное и рациональное природопользование [9].

Дальнейшее развитие общества под эгидой устойчивого и постиндустриального развития выдвигает свои требования к организации кратковременной рекреации в структуре ландшафтно-рекреационных зон города, учитывающие социальный, технологический и архитектурно-экологический аспекты. Анализ требований приведен в четырех таблицах ниже, четко отображающих организацию мест кратковременного отдыха с учетом связи общества и природной среды, влияния архитектурно-экологической сферы, социокультурной сферы и устойчивого развития.

Выводы. Были рассмотрены факторы, препятствующие реализации потребностей населения в отдыхе — последствия урбанизационных и урбоэкологических процессов, которые способствуют антропогенному загрязнению рекреационной среды города и приводят к нарушению пространственных, нравственных и эстетических связей горожан с природой. В аспекте рассматриваемой проблемы проанализировано состояние экологической среды города Донецка и предложены меры по улучшению качества городского пространства для отдыха и рекреации населения (табл. 1—4).

Таблица 1

Особенности организации объектов кратковременного отдыха в структуре городской среды с учетом мотивации человеческой деятельности, наличия ценных ориентиров

Показатели связи общества и городской среды	Требования к архитектурно-планировочной организации кратковременного отдыха
Архитектура как нелинейная система	Феноменологический (субъективно-чувственный) подход к созданию пространства для отдыха. Учет понятий «образ» и «гармония», позволяющих к физическим параметрам среды добавить чувственно-эмоциональное переживание, способствующее психологическому комфорту отдыхающего населения
Дружественная модель среды обитания	Пока пространство не будет физиологически дружественным, человек не сможет расслабиться и чувствовать себя комфортно. Приоритет слабой, сдержанной и скромной рекреационной архитектуры над окулярной агрессивной архитектурой сильного образа
Гуманизация архитектурной среды	Сомасштабная человеку рекреационная среда и учет требований видеоэкологии. Доступность кратковременного отдыха
Идентификация человека и среды	Контекстуализация объектов. Связь материальной сущности, воплощающей концепцию кратковременного отдыха, с невидимым «духом места», порождаемым физическими свойствами средового контекста. Учет пространственных ценностей традиционной культуры
Связь человека и природы	Концепция соэволюции архитектуры и природной среды. Гармония, взаимодействие архитектуры и ландшафтной составляющей рекреационной среды

Таблица 2

Особенности организации объектов кратковременного отдыха в структуре городской среды с учетом влияния архитектурно-экологической и градостроительной сферы

Положения устойчивого развития города	Требования к архитектурно-планировочной организации кратковременного отдыха
Ограничение и контроль роста города	Использование в рекреационных целях периферийных природных территорий с целью недопущения «расползания» города
Поддержание развития небольших городов и сельских населенных пунктов	Сохранение дикой природы и организация кратковременного отдыха в существующих зонах стихийного отдыха населения с целью упорядочения досуговых процессов
Охрана зеленых мест	Озеленение не менее 60 % территории кратковременного отдыха. Создание проходящих через всю зону отдыха зеленых коридоров для свободной миграции животных и потоков отдыхающих людей. Увеличение биоразнообразия на территории отдыха. Специально подобранные виды растительности с целью наибольшей продуктивности очистки воздуха и дождевой воды, поступления в воздух фитонцидов. Озеленение всех доступных вертикальных и горизонтальных поверхностей
Сокращение использования автотранспорта	Организация на территории отдыха велосипедных и пешеходных маршрутов. Вынос стоянок транспорта за пределы зоны отдыха. Предоставление для транспорта подземных пространств. Минимализация асфальтового покрытия
Снижение этажности	Приоритет малоэтажной высокоплотной застройки (здания не выше деревьев)
Сохранение поверхности земли вместе с почвенным слоем, а также рельефа	Использование подземного пространства. При застройке зоны отдыха проектирование зданий надземного типа, поднятых над землей(с возможностью озеленения грунта под зданием)

Таблица 3

Особенности организации объектов кратковременного отдыха в структуре городской среды для информационного общества с учетом влияния социокультурной сферы

Показатели связи общества и городской среды	Требования к архитектурно-планировочной организации кратковременного отдыха
Развитие человеческих способностей	Полифункциональность рекреационной среды. Участие отдыхающих в процессе создания рекреационной среды (работа на грядках, садоводство, и другие формы фитотерапии)
Динамичность образов жизни и изменчивость структуры семей	Обеспечение возможности созидательной, творческой рекреации
Культурно-природная интеграция	Трансформируемость, мобильность архитектурной составляющей с течением времени. Разнообразие временных форм занятости людей
Социальная реинтеграция	Адаптация среды для разных форм кооперации людей: одиночек, семей, третьего возраста и т. п.
Насыщение жизни техническими средствами	Возможность получения в зоне отдыха информации через средства массовой коммуникации
Научные знания в гармонии с духовно-нравственными ценностями	Взаимосвязь архитектурно-пространственных форм с глубинными ценностями ландшафтной среды

Таблица 4

Особенности организации объектов кратковременного отдыха в структуре городской среды с учетом влияния социокультурной сферы в рамках устойчивого развития

Положения устойчивого развития города	Требования к архитектурно-планировочной организации кратковременного отдыха
Общество с уравновешенной психикой, основанное на принципах ненасилия, милосердия, честности и т. д.	Обеспечение возможности постоянного общения отдыхающих (объединение номеров общими выходами в зимние сады, создание беседок, пергол, зон коллективного отдыха и т. д.)
Открытое и прозрачное общество. Свободное демократическое общество	Обеспечение постоянных контактов человека с природой: флорой, фауной (конюшни, зооуголки, сады, рыбалка)
Общество, осознающее свое место в экоцикле планеты	Благоприятное соотношение общественного и личного пространств
Укрепление семей и воспитание здоровой личности	Широкий выбор и возможности для реализации досуга (пикники, бег, бадминтон и т. д.)
Возрождение культурно-исторических традиций	Гарантия равных рекреационных возможностей для различных этнических, культурных, возрастных и других групп
Гарантии здоровья и комфорта для человека	Спортивные площадки
Всеобщее развитие	Деятельность по интересам

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Corner James.* Terra Fluxus // The Landscape Urbanism Reader. N.-Y.: Princeton Architectural Press, 2006. Pp. 022—033.

2. *Moughtin C., Shirley P.* Urban design: green dimensions. Burlington, 2005. 266 p.

3. *Brown L. R.* World without Borders. N.-Y.: Foreign Policy Association, 1972.

4. *Владимиров В. В.* Урбоэкология: конспект лекций. М.: Изд-во МНЭПУ Галерия, 1999. 202. с.

5. *Шолух Н. В., Мухин Е. Г.* Основные техногенные источники загрязнения, их воздействие на человека и окружающую среду (на примере Донецкой области) // Проблеми архітектури і містобудування. 2008. Вип. 6(74). С. 89—93.

6. Украина в 2015 на 14,7 % сократила выбросы загрязняющих веществ. URL: https://www.rbc.ua/rus/news/ukraina-2015-14-7-sokratila-vybrosy-zagryaznyayushchih-1459243723.html

7. *Воронина А. В.* Кризис городов и ландшафтный урбанизм XXI века. URL: http://www.alairnn.ru/?a=articles&articles=124

8. Доклад Конференции ООН по населенным пунктам (Хабитат II). Нью-Йорк, 1997. 140 с.

9. *Макогон Ю. В.* Стратегия устойчивого развития г. Донецка до 2020 г.

© Антюфеев А. В., Клименко И. М., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Антюфеев А. В., Клименко И. М. Особенности организации объектов кратковременного отдыха в структуре города с позиции основных концепций развития урбанизированных территорий (на примере г. Донецка) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 119—127.

Об авторах:

Антюфеев Алексей Владимирович — канд. архит., профессор, зав. кафедрой урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, antyufeev_a@mail.ru

Клименко Ирина Михайловна — аспирант кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, home@volgartdesign.ru

A. V. Antyufeev, I. M. Klimenko

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF SHORT-TERM REST PLACES IN THE CITY STRUCTURE FROM THE PERSPECTIVE OF THE MAIN DEVELOPMENT CONCEPTS FOR THE URBANIZED TERRITORIES (by the example of the city of Donetsk)

The article highlights urban and urban-ecological processes and their influence on the organization of short-term rest in the structure of architectural and landscape urban environment. The urban environmental analysis was carried out, on the basis of which measures and actions for quality improvement and development of urbanized territories were proposed.

K e y w o r d s: urban ecology, urbanized cities and territories, short-term rest, urban environment.

REFERENSES

1. Corner James. Terra Fluxus. Charles Waldheim (ed.). *The Landscape Urbanism Reader*. New York, Princeton Architectural Press, 2006. Pp. 022—033.

2. Moughtin C., Shirley P. *Urban design: green dimensions*. Burlington, 2005. 266 p.

3. Brown L. R. *World without Borders*. N.-Y.: Foreign Policy Association, 1972.

4. Vladimirov V. V. *Urboekologiya: konspekt lektsii* [Urban ecology: summary of lectures]. Moscow, Galeriya Publishing House of MNEPU, 1999. 202 p.

5. Sholukh N. V., Mukhin E. G. [Main technogenic sources of pollution, their impact on a person and the environment (by the example of Donetsk Oblast)]. *Problemi arkhitekturi i mistobuduvannya*, 2008, iss. 6(74), pp. 89—93.

6. *Ukraina v 2015 na 14,7 % sokratila vybrosy zagryaznyayushchikh veshchestv* [In 2015 Ukraine reduced the amount of pollutant emissions by 14.7%]. URL: https://www.rbc.ua/rus/news/ukraina-2015-14-7-sokratila-vybrosy-zagryaznyayushchih-1459243723.html

7. Voronina A. B. *Krizis gorodov i landshaftnyi urbanizm XXI veka* [Crisis of cities and landscape urbanism of the XXI century]. URL: http://www.alairnn.ru/?a=articles&articles=124

8. *Doklad Konferentsii OON po naselennym punktam (Khabitat II)* [The report of the UN Conference on settlements (Habitat II)]. New York, 1997. 140 p.

9. Makogon Yu. V. *Strategiya ustoichivogo razvitiya g. Donetska do 2020 g.* [The strategy of sustainable development of Donetsk till 2020].

For citation:

Antyufeev A. V., Klimenko I. M. [Features of the organization of short-term rest places in the city structure from the perspective of the main development concepts for the urbanized territories (by the example of the city of Donetsk)]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 119—127.

About authors:

Antyufeev Aleksei Vladimirovich — Candidate of Architecture, Professor, Head of the Urban Development Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, antyufeev_a@mail.ru

Klimenko Irina Mikhailovna — Postgraduate student of the Urban Development Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, home@volgartdesign.ru

УДК 628.511.1:666.961:621.928.93

Р. А. Бурханова[а, б], А. И. Бурханов[б], Д. В. Азаров[б]

[а] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова

[б] Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ОЦЕНКА ПРОСКОКА В АТМОСФЕРУ И РАБОЧУЮ ЗОНУ АСБЕСТОЦЕМЕНТНОЙ ПЫЛИ ПОСЛЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ

Авторами исследован процесс проскока асбестоцементной пыли после пылеуловителей со встречными закрученными потоками. Учитывались массовый расход пыли, попадающей в воздух рабочей зоны, общий расход газа, относительная концентрация и дисперсный состав пыли. При исследовании применены методы математической статистики и вероятностно-стохастического подхода. Установлено оптимальное соотношение данных показателей, при котором наблюдается наибольшая эффективность пылеулавливания.

Ключевые слова: оценка проскока пыли, асбестоцементная пыль, дисперсный состав пыли, эффективность пылеулавливания, пылеуловители на встречных закрученных потоках.

На предприятиях по производству асбестоцементных изделий наблюдается значительное образование мелкодисперной пыли. В соответствии с особенностями строения волокон асбеста, а также спецификой производства наиболее мелкие фракции (PM_{10}, $PM_{2,5}$) не могут быть уловлены [1]. При этом концентрация асбестоцементной пыли в воздухе рабочей зоны на ряде предприятий может превышать значение ПДК в 5 раз, концентрация на границе санитарно-защитной зоны предприятия имеет 2-кратное превышение нормативов [2].

Для борьбы с пылевым фактором используются циклоны, рукавные фильтры и аппараты ВЗП [3]. В то же время процессы пылеулавливания при использовании аппаратов ВЗП не до конца рассмотрены.

Для того чтобы разработать комплекс долговременных решений по проблеме защиты от пылевых выбросов на рабочих местах, необходимо провести оценку проскока асбестоцементной пыли в атмосферу и рабочую зону. Учитывая, что к настоящему времени информации о работе аппаратов ВЗП недостаточно, в данной работе была поставлена цель — исследовать процесс пылеулавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП с учетом массового расхода пыли, попадающей в воздух рабочей зоны, общего расхода газа в системе, соотношения расходов газа в нижнем и верхнем вводах, относительной концентрации и дисперсного состава пыли, поступающей на очистку, с применением методов математической статистики и вероятностно-стохастического подхода.

При проведении эксперимента авторами использовалась установка, состоящая из аппарата ВЗП и двух отсосов. В соответствии со спецификой асбестоцементной пыли для предотвращения выбивания было достигнуто оптимальное соотношение расходов пылегазовой смеси во вводах пылеулавливающей установки, равное 60 к 40, при обычном 73 к 27.

Для тангенциального закручивателя, который применялся в установке для создания и регулирования закрутки проходящего по воздуховоду потока воздуха, задавался формпараметр от 0,5 до 5.

В данной установке асбестоцементная пыль попадает в загрузочное устройство, и затем начинается постепенное открывание регулирующей заслонки. При этом воздушный поток из воздуховода перемещает пылевые фракции. Исследователь осуществляет наблюдение за движением частиц пыли, чтобы зафиксировать момент отложения пыли на внутренней поверхности. При определенном значении скорости образование пылевых отложений прекращается (пыль асбестоцемента в твердой и газообразной фазах смешивается).

Чтобы осуществить оценку проскока в атмосферу и рабочую зону асбестоцементной пыли после пылеуловителя со встречными закрученными потоками, необходимо сопоставить значения массы пыли, которая поступает в систему и удаляется из нее [4, 5].

Для проведения исследования необходимо выбрать такой режим работы установки, при котором движение газового потока будет непрерывным. Чтобы правильно определить место забора проб, нужно выявить прямой участок по ходу движения потока на значительном удалении от участков, на которых меняется его направление или площадь поперечного сечения воздуховода. Наименьшая протяженность прямого участка не должна быть меньше его 5 эквивалентных диаметров.

Исследуемую площадь воздуховода разделяют на одинаковые участки, с точками измерения в центре. Измерения динамического давления должны быть выполнены в каждой точке не менее трех раз. Сопоставляя результаты, выводят среднее динамическое давление в каждой из исследуемых точек. Авторами был осуществлен отбор проб пыли во всех замерных сечениях в один и то же промежуток времени.

С помощью методов планирования эксперимента [6] был проведен теоретический анализ процесса пылеулавливания с точки зрения вероятностно-стохастического подхода. В данном случае для исследования были избраны такие варьируемые факторы, как:

$L_{общ}$ — общий расход газа в системе, м^3/ч;

$L_н / L_{общ}$ — доля расхода газа, подаваемого в аппарат через нижний ввод;

$\bar{C}$ — относительная концентрация поступающей пыли на очистку, г/м^3.

Полный факторный эксперимент был проведен авторами на первом этапе исследования. Значения факторов приведены к математическому выражению

$$x_1 = \frac{\overline{V}_y - \overline{V}_{y_0}}{\Delta\overline{V}_y};\quad x_2 = \frac{\overline{B}_y - \overline{B}_{y_0}}{\Delta\overline{B}_y};\quad x_3 = \frac{\overline{K}_y - \overline{K}_{y_0}}{\Delta\overline{K}_y}$$

где $\overline{V}_{y_0}$, $\overline{B}_{y_0}$, $\overline{K}_{y_0}$ — значения соответствующих факторов в центре плана;

$\Delta\overline{V}_y$, $\Delta\overline{B}_y$, $\Delta\overline{K}_y$ — интервалы изменений значения факторов.

В соответствии с [6, 7] была выполнена оценка дисперсий, определены коэффициенты уравнения регрессии, а также доверительный интервал для каждого из факторов эксперимента и средняя квадратическая ошибка.

Полученные результаты показали, что коэффициенты взаимодействия значимы и линейная модель неадекватна. С учетом этого был сделан вывод о необходимости аппроксимации функции отклика полиномами второго порядка [6, 8]. Для получения математической модели области оптимума в виде уравнения второго порядка на втором этапе исследования был реализован центральный композиционный ортогональный план второго порядка.

Уровни и интервалы варьирования определяющих факторов приведены в табл.

План эксперимента

Факторы	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
		основной 0	верхний +1	нижний –1
x_1 — общий расход газа в систему, м^3/ч	20	100	120	80
x_2 — доля расхода газа, подаваемого в аппарат через нижний ввод	0,1	0,3	0,4	0,2
x_3 — относительная концентрация поступающей пыли на очистку, отнесенная к 1 г/м^3	20	40	60	20

Проведенные по плану эксперимента исследования (см. табл.) учитывают временной дрейф и рандомизацию [6, 8, 9].

Для проверки воспроизводимости эксперимента и проведения статистических оценок его результатов проведены две параллельные серии опытов. Для вычисления коэффициентов уравнения регрессии использован модуль «Нелинейное оценивание» пакета программ статистического анализа «STATISTICA 5.5». Оценка воспроизводимости экспериментальных исследований выполнена на основании сопоставления расчетного и табличного критериев Кохрена, на уровне доверительной вероятности $p = 0{,}05$ результаты экспериментальных исследований воспроизводимы. В качестве функции отклика определялась эффективность улавливания установки. В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномами второй степени с учетом значимости вычисленных коэффициентов на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ принятом для технических экспериментов, уравнение регрессии ищем в виде

$$\eta = \eta\left(L_o, L_{\text{н}} / L_o, C\right); \tag{1}$$

$$\eta = 90{,}75 - 5L_{\text{общ}} - 17{,}2L_{\text{н}} / L_{\text{общ}} - 2C. \tag{2}$$

Результаты оценки проскока асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП для режима $L = 1D$ (длина патрубка нижнего ввода $L = 150$ мм) представлены на рис. 1—3. Уравнение регрессии будет иметь вид:

$$Y = 90{,}75 + 0{,}00503X_1 - 1{,}42X_2 + 0{,}000639X_3;$$

$$Y = 90{,}75 - 5L_{\text{общ}} - 17{,}2L_{\text{н}} / L_{\text{общ}} - 2\bar{C}.$$

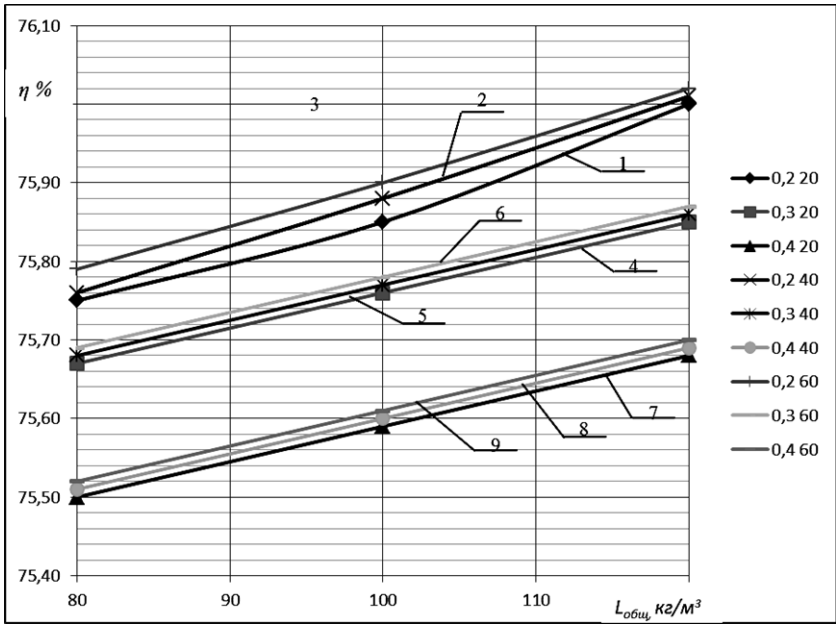


Рис. 1. Экспериментальные зависимости эффективности улавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП 150 с длиной патрубка нижнего ввода L = 150 мм при: $\overline{C}$ = 20: *1* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *2* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *3* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $\overline{C}$ = 40: *4* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *5* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *6* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $\overline{C}$ = 60: *7* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *8* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *9* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4

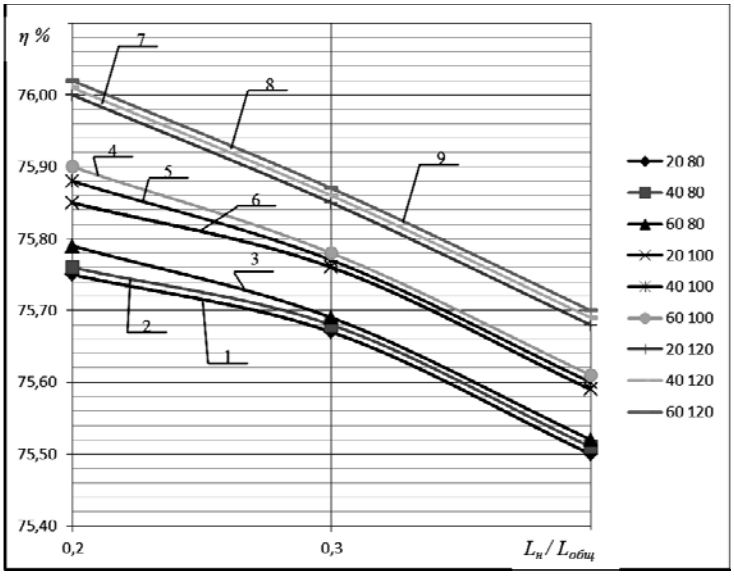


Рис. 2. Экспериментальные зависимости эффективности улавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП 150 с длиной патрубка нижнего ввода L = 150 при: $L_{общ}$ = 80: *1* — $\overline{C}$ = 20; *2* — $\overline{C}$ = 40; *3* — $\overline{C}$ = 60; $L_{общ}$ = 100: *4* — $\overline{C}$ = 20; *5* — $\overline{C}$ = 40; *6* — $\overline{C}$ = 60; $L_{общ}$ = 120: *7* — $\overline{C}$ = 20; *8* — $\overline{C}$ = 40; *9* — $\overline{C}$ = 60

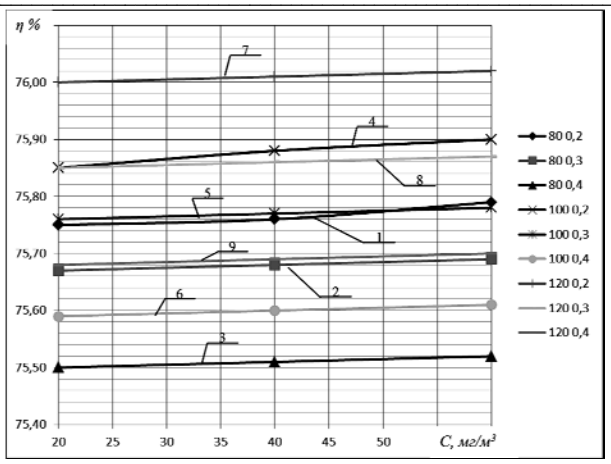


Рис. 3. Экспериментальные зависимости эффективности улавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП 150 с длиной патрубка нижнего ввода L = 150 мм при: $L_{общ}$ = 80: *1* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *2* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *3* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $L_{общ}$ = 100: *4* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *5* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *6* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $L_{общ}$ = 120: *7* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *8* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *9* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4

Результаты оценки проскока асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП для режима $L = 2D$ (длина патрубка нижнего ввода L = 300 мм) представлены на рис. 4—6.

В данном случае (рис. 4—6) уравнение регрессии будет иметь вид:

$$Y = 90,74 + 0,0374X_1 + 1,72X_2 + 0,00514X_3;$$

$$Y = 90,74 - 5L_{общ} + 14,2L_н / L_{общ} - 2\overline{C}.$$

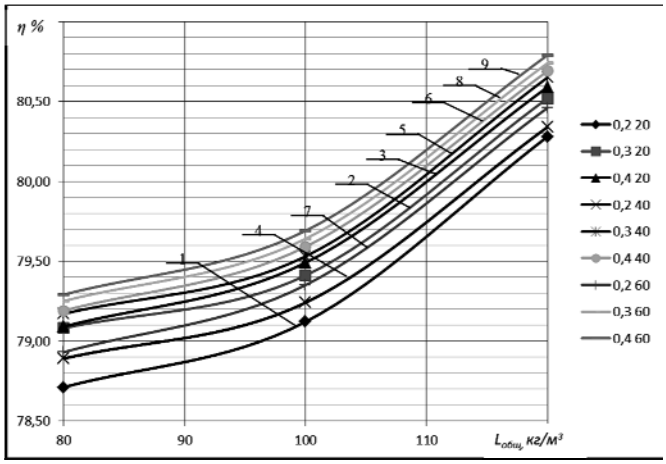


Рис. 4. Экспериментальные зависимости эффективности улавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП 150 с длиной патрубка нижнего ввода L = 300 мм при: $\overline{C}$ = 20: *1* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *2* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *3* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $\overline{C}$ = 40: *4* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *5* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *6* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $\overline{C}$ = 60: *7* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *8* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *9* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4

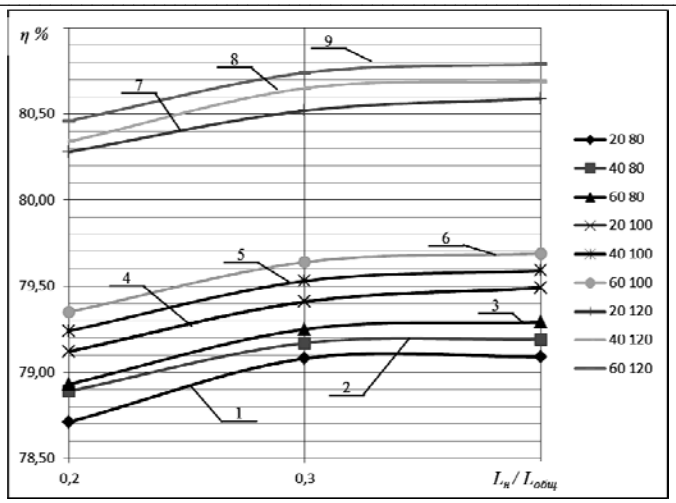


Рис. 5. Экспериментальные зависимости эффективности улавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП 150 с длиной патрубка нижнего ввода L = 300 мм при: $L_{общ}$ = 80: *1* — $\overline{C}$ = 20; *2* — $\overline{C}$ = 40; *3* — $\overline{C}$ = 60; $L_{общ}$ = 100: *4* — $\overline{C}$ = 20; *5* — $\overline{C}$ = 40; *6* — $\overline{C}$ = 60; $L_{общ}$ = 120: *7* — $\overline{C}$ = 20; *8* — $\overline{C}$ = 40; *9* — $\overline{C}$ = 60

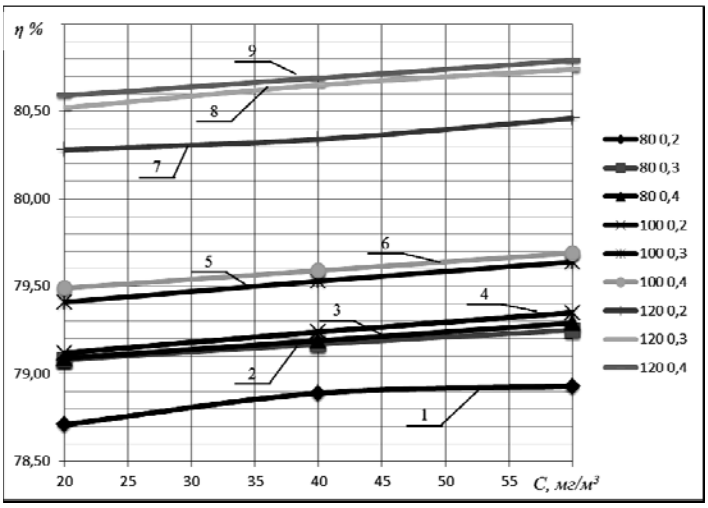


Рис. 6. Экспериментальные зависимости эффективности улавливания асбестоцементной пыли аппаратом ВЗП 150 с длиной патрубка нижнего ввода L = 300 мм при: $L_{общ}$ = 80: *1* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *2* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *3* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $L_{общ}$ = 100: *4* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *5* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *6* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4; $L_{общ}$ = 120: *7* — $L_н / L_{общ}$ = 0,2; *8* — $L_н / L_{общ}$ = 0,3; *9* — $L_н / L_{общ}$ = 0,4

Таким образом, на основании полученных экспериментальных исследований пыли, выделяющейся при производстве асбестоцементных изделий, можно сделать вывод, что наибольшая эффективность улавливания отмечается при отношении расхода в нижнем и верхнем вводах, равном 0,2, при общем расходе газа в системе 120 м^3/ч и относительной концентрации поступающей пыли на очистку, находящейся в пределах от 40 до 60 г/м^3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Азаров В. Н.* Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий: дис… д-ра техн. наук. Ростов н/Д, 2004. 47 с.

2. Об исследовании аэродинамических характеристик асбестоцементной пыли в воздухе рабочей зоны / В. Н. Азаров, О. В. Бурлаченко, Р. А. Бурханова, Н. А. Маринин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20). Ст. 17. URL: www.vestnik.vgasu.ru

3. *Лапшин А. Б.* Технология обеспыливания в производстве цемента. Новосибирск: НПО «Стромэкология»; М.: Концерн «Цемент», 1996. 149 с.

4. *Баренблат Г. И.* Движение взвешенных частиц в турбулентном потоке. М.: Металлургиздат, 1970. 89 с.

5. *Богуславский Е. И.* Вероятностно-статистический метод решения задач пылеаэромеханики // Проблемы охраны труда: междунар. науч. конф. Рубежное, 1986. 346 с.

6. *Адлер Ю. П.* Планирование эксперимента. М.: Наука, 1966.

7. *Кутепов А. М., Латкин А. С.* Вихревые процессы для модификации дисперсных систем. М.: Наука, 1999. 250 с.

8. *Азаров В. Н., Азаров Д. В., Гробов А. Б.* Дисперсный состав пыли как случайная функция // Объединенный научный журнал. 2003. № 6. С. 62—64.

9. *Логачев И. Н., Логачев К. И.* О прогнозировании дисперсного состава и концентрации грубодисперсных аэрозолей в местных отсосах систем аспирации // Известия вузов. Строительство. 2002. № 9. С. 85—90.

© Бурханова Р. А., Бурханов А. И., Азаров Д. В., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Бурханова Р. А., Бурханов А. И., Азаров Д. В. Оценка проскока в атмосферу и рабочую зону асбестоцементной пыли после пылеуловителей со встречными закрученными потоками // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 128—135.

Об авторах:

Бурханова Рената Анверовна — канд. техн. наук, доцент кафедры горного дела, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова (ЮРГПУ (НПИ)). Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, renata_vlg@mail.ru

Бурханов Анвер Идрисович — д-р физ.-мат. наук, доц., зав. кафедрой физики, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, burkhanov@inbox.ru

Азаров Денис Валерьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, kaf_bgdvt@mail.ru

R. A. Burkhanova, A. I. Burkhanov, D. V. Azarov

ESTIMATION OF LEAKAGE OF ASBESTOS-CEMENT DUST IN THE ATMOSPHERE AND WORKING ZONE AFTER DEDUSTERS WITH COUNTER TWIRLED STREAMS

The authors studied the process of leakage of asbestos-cement dust after dedusters with counter twirled streams. The mass flow of the dust getting into the air of a working zone, the general gas flow, relative concentration and disperse structure of dust were considered. At the research the methods of

mathematical statistics and probabilistic and stochastic approach are applied. The optimal ratio of the given parameters, at which the greatest efficiency of dust collection is observed, is established.

K e y w o r d s: estimation of leakage of dust, asbestos-cement dust, disperse composition of dust, dust collection efficiency, dedusters with counter twirled streams.

REFERENSES

1. Azarov V. N. *Kompleksnaya otsenka pylevoi obstanovki i razrabotka mer po snizheniyu zapylennosti vozdushnoi sredy promyshlennykh predpriyatii* [Comprehensive assessment of dust condition and working out of the measures to decrease dust level of the air environment of industrial enterprises. Dr. Eng. Sc. Diss]. Rostov-on-Don, 2004. 47 p.

2. Azarov V. N., Burlachenko O. V., Burkhanova R. A., Marinin N. A. [Regarding the study of aerodynamic characteristics of asbestos dust in emissions]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2012, no. 1(20), paper 17. URL: www.vestnik.vgasu.ru

3. Lapshin A. B. *Tekhnologiya obespylivaniya v proizvodstve tsementa* [Dedusting technology in cement production]. Novosibirsk, R&D Company "Stromekologiya"; Moscow, Group of Companies "Tsement", 1996. 149 p.

4. Barenblat G. I. *Dvizhenie vzveshennykh chastits v turbulentnom potoke* [Move of suspended particles in a turbulent flow]. Moscow, Metallurgizdat, 1970. 89 p.

5. Boguslavskii E. I. [Probabilistic and statistical method of solution of tasks of dust aeromechanics]. *Problemy okhrany truda: mezhdunar. nauch. konf.* [Problems of labour safety. Int. Sc. Conf.]. Rubezhnoe, 1986. 346 p.

6. Adler Yu. P. *Planirovanie eksperimenta* [Planning of an experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1966.

7. Kutepov A. M., Latkin A. S. *Vikhrevye protsessy dlya modifikatsii dispersnykh sistem* [Swirling processes for the modification of disperse systems]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 250 p.

8. Azarov V. N., Azarov D. V., Grobov A. B. [Disperse composition of dust as stochastic function]. *Ob"edinennyi nauchnyi zhurnal* [United Scientific Journal], 2003, no. 6, pp. 62—64.

9. Logachev I. N., Logachev K. I. [About the forecast of disperse composition and concentration of coarsely dispersed aerosols in local exhausts in aspiration systems]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2002, no. 9, pp. 85—90.

For citation:

Burkhanova R. A., Burkhanov A. I., Azarov D. V. [Estimation of leakage of asbestos-cement dust in the atmosphere and working zone after dedusters with counter twirled streams]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 128—135.

About authors:

Burkhanova Renata Anverovna — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Mining Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnical University (NPI). 132, Prosveshcheniya Street, Novocherkassk, 346428, Russian Federation; Senior Lecturer of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, renata_vlg@mail.ru

Burkhanov Anver Idrisovich — Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Docent, the Head of Physics Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, burkhanov@inbox.ru

Azarov Denis Valer'evich — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, kaf_bgdvt@mail.ru

УДК 71.4:551.584.5

О. А. Ганжа[а], В. В. Прокопенко[б]

[а] Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
[б] Волжский институт строительства и технологий (ВИСТех) — филиал ВолгГАСУ

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КОМФОРТНОСТИ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ (на примере города Волгограда)

Разработана методика определения показателя комфортности объектов озеленения общего пользования, отражающая влияние антропогенной группы факторов на состояние среды в объектах и их рекреационное значение в структуре селитебной территории.

К л ю ч е в ы е с л о в а: рекреация, система озеленения города, объекты озеленения общего пользования, показатель комфортности.

Современные тенденции сжатия экономического пространства и расселения населения с растущей концентрацией производства и населения в крупных и крупнейших городах приводят к снижению качества среды жизнедеятельности, росту заболеваемости. В этой связи все более актуальной становится задача поиска путей смягчения неблагоприятного воздействия на население возрастающих антропогенных нагрузок. Одним из направлений ее решения является рациональное размещение зеленых насаждений в плане города, а именно площадь зеленых насаждений, конфигурация объектов озеленения общего пользования, местоположение по отношению к жилой застройке [1].

В настоящее время методикам расчета качества городской среды посвящено множество научных трудов и нормативно-методических документов, в том числе приказ Министерства регионального развития России от 9 сентября 2013 года № 371 «Об утверждении методики оценки качества городской среды проживания».

При изучении факторов, влияющих на качество городской среды, исследователи выделяют ряд наиболее значимых [2], одним из которых является качество застройки. Качество застройки складывается из множества показателей: социально-экономических, экологических, градостроительных и др. Одним из показателей качества застройки является степень комфортности объектов озеленения общего пользования. Поэтому возможно рассматривать повышение качества среды застроенных территорий через определение значения показателя комфортности объектов озеленения общего пользования.

Зеленые насаждения общего пользования — это объекты рекреации, и создание в их пределах благоприятной экологической среды — необходимое условие для комфортного отдыха населения. С другой стороны, их наличие улучшает микроклимат на прилегающих к ним жилых территориях, повышает эстетические качества жилой среды. Поэтому необходимо иметь расчетный инструмент, позволяющий определить показатель комфортности данных объектов [3—7] и оценить качество среды.

Комфортность объектов озеленения, с одной стороны, зависит от влияния антропогенных нагрузок на озеленение как объекты рекреации, с другой

стороны, озеленение, в свою очередь, влияет на среду прилегающих жилых территорий [8—10].

Разработанный расчетный инструмент определения показателя комфортности объектов озеленения позволит оценить эффективность сложившейся системы озеленения, разработать предложения по ее совершенствованию, которые могут быть учтены при разработке градостроительной документации, осуществлении мероприятий по реконструкции.

Показатель комфортности объектов озеленения общего пользования — это интегральный показатель, устанавливающий состояние среды в объектах и определяющий:

1) степень влияния объектов озеленения общего пользования на качество городской среды, которое можно определить:

методом расчета площади объектов озеленения общего пользования и их влияния на качество городской среды;

методом расчета выделения кислорода растительностью объектов озеленения общего пользования;

2) степень влияния городской среды на объекты озеленения общего пользования. Определяется:

методом априорного ранжирования факторов влияния городской среды на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования;

методом анализа иерархии;

методом построения статистической модели.

Метод расчета площади объектов озеленения общего пользования и их влияния на качество городской среды основан на таких критериях показателей исследования, как [11]:

- действительная площадь объектов;
- равномерность распределения объектов озеленения общего пользования на территории районов;
- величина разрывов между объектами озеленения общего пользования;
- границы влияния объектов озеленения общего пользования на жилую застройку по трем зонам:

зона 1 — полоса наиболее активного воздухообмена (оздоровительное значение озеленения объекта);

зона 2 — пешеходная доступность объекта (радиус обслуживания, рекреационное значение);

зона 3 — зрительная взаимосвязь объекта озеленения общего пользования (зеленого массива) с прилегающей застройкой (эстетическое значение объекта).

Указанные критерии показателей исследования позволяют определить:

- степень влияния объектов озеленения общего пользования на уровень озелененности территории;
- число жителей района, как проживающих в условиях благотворного влияния объектов озеленения общего пользования, так и не попадающих под благотворное влияние рассматриваемых объектов.

Определение значения критериев основано на следующих расчетах:

- геометрическом, с использованием математических операций;
- графоаналитическом.

Геометрический расчет проводится путем наложения на план административных районов города сетки квадратов с шагом 250 м. Степень озеленения

в каждом квадрате разбивки оценивается по площади озелененных территорий объектов озеленения общего пользования.

Следующий этап — определение влияния объектов озеленения общего пользования на качество городской среды — проводится графоаналитическим способом, алгоритм которого включает [12—13]:

- количество людей, проживающих в зоне влияния объектов озеленения общего пользования;
- площади территорий, на которых наблюдается положительное воздействие объектов озеленения;
- показатель снижения негативного влияния антропогенных факторов.

Графоаналитический расчет позволяет установить зоны влияния объектов:

- воздухообмен на расстоянии 250 м от границы объекта (зона 1);
- визуальное восприятие объектов озеленения общего пользования — 500 м (зона 2);
- радиус доступности (обслуживания) в соответствии с нормативным значением от 500 до 1500 м в зависимости от категории объектов озеленения общего пользования (зона 3).

Таким образом, данный метод позволяет определить фактическую площадь зеленых насаждений в объектах озеленения общего пользования и их влияние на качество жилой застройки. Алгоритм расчета по данному методу представлен на рис. 1.

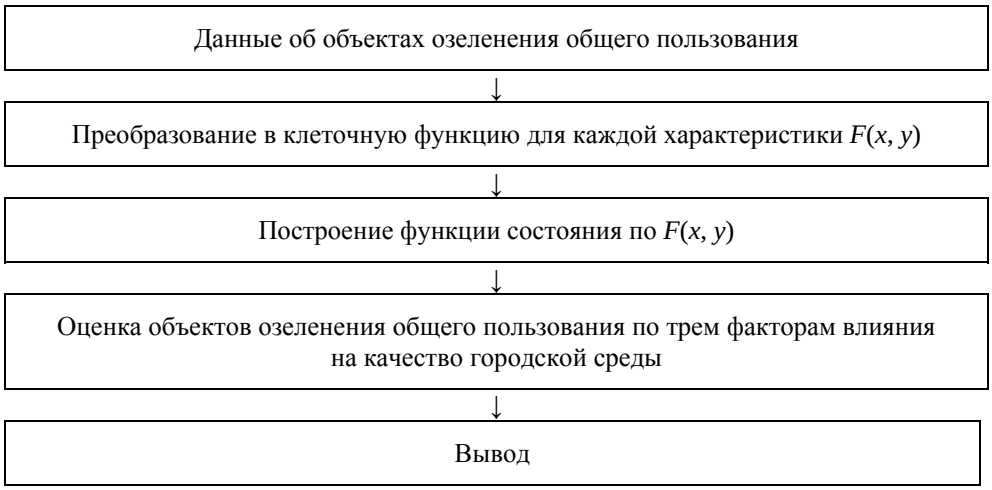


Рис. 1. Блок-схема метода расчета площади объектов озеленения

Метод расчета выделения кислорода растительностью объектов озеленения общего пользования (рис. 2).

Гипотеза расчета кислородного баланса основана на утверждении роли зеленых насаждений объектов озеленения общего пользования как эффективных поставщиков чистого воздуха в городскую среду и критериев оценки уровня озелененности территории. Из этого следует необходимость использования предлагаемого алгоритма на стадии разработки генерального плана и проекта планировки, с учетом климатических и экологических особенностей территории.

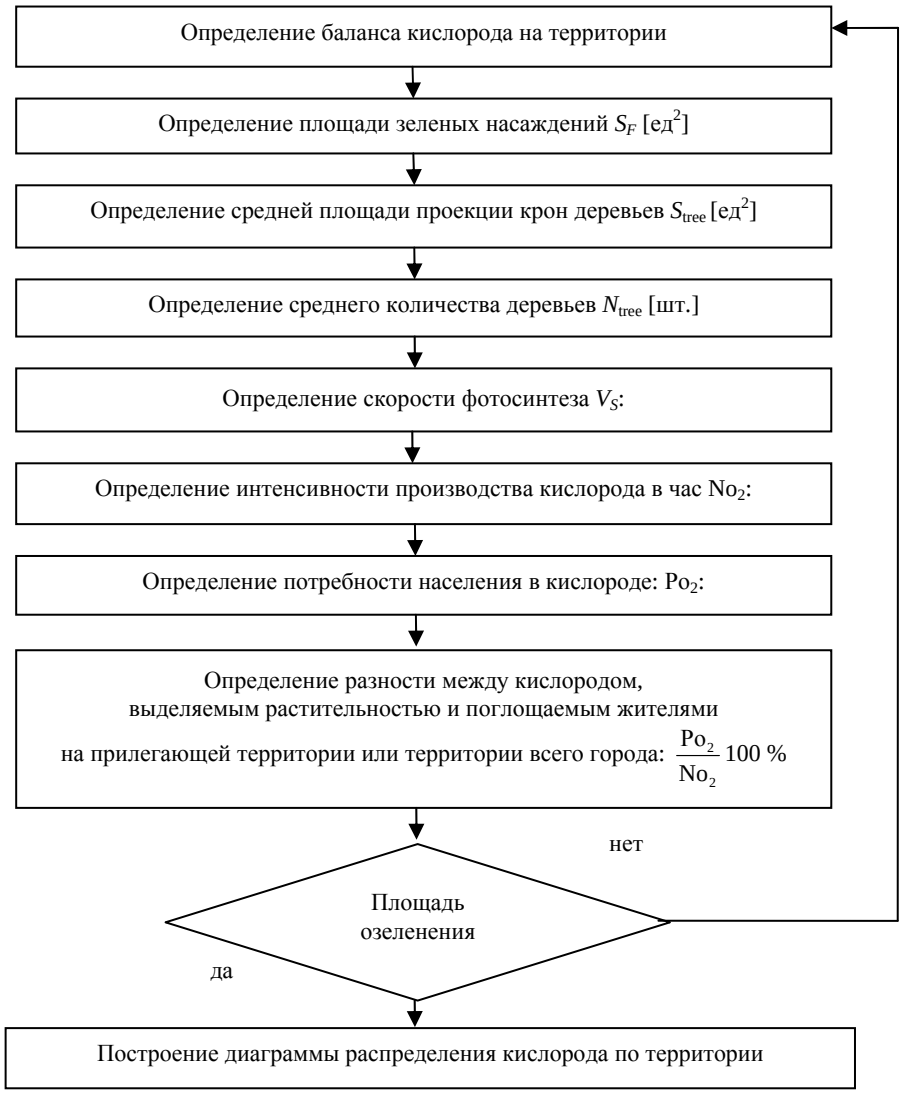


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения кислородного баланса (использованы материалы расчета, разработанного В. Н. Луканиным) [14]

Для определения влияния городской среды на объекты озеленения общего пользования необходимо было выделить группы факторов, воздействующих на показатель комфортности исследуемых объектов. С этой целью был проведен социологический опрос групп жителей, проживающих в зоне влияния исследуемых объектов, по возрастному критерию. Выявленные значимые группы факторов проанализированы экспертным сообществом. Результаты экспертной оценки обработаны *методам априорного ранжирования факторов* (рис. 3).

На следующем этапе использован *метод анализа иерархии (МАИ)*, на основе которого построена структурная модель оценки факторов, оказывающих влияние на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования.

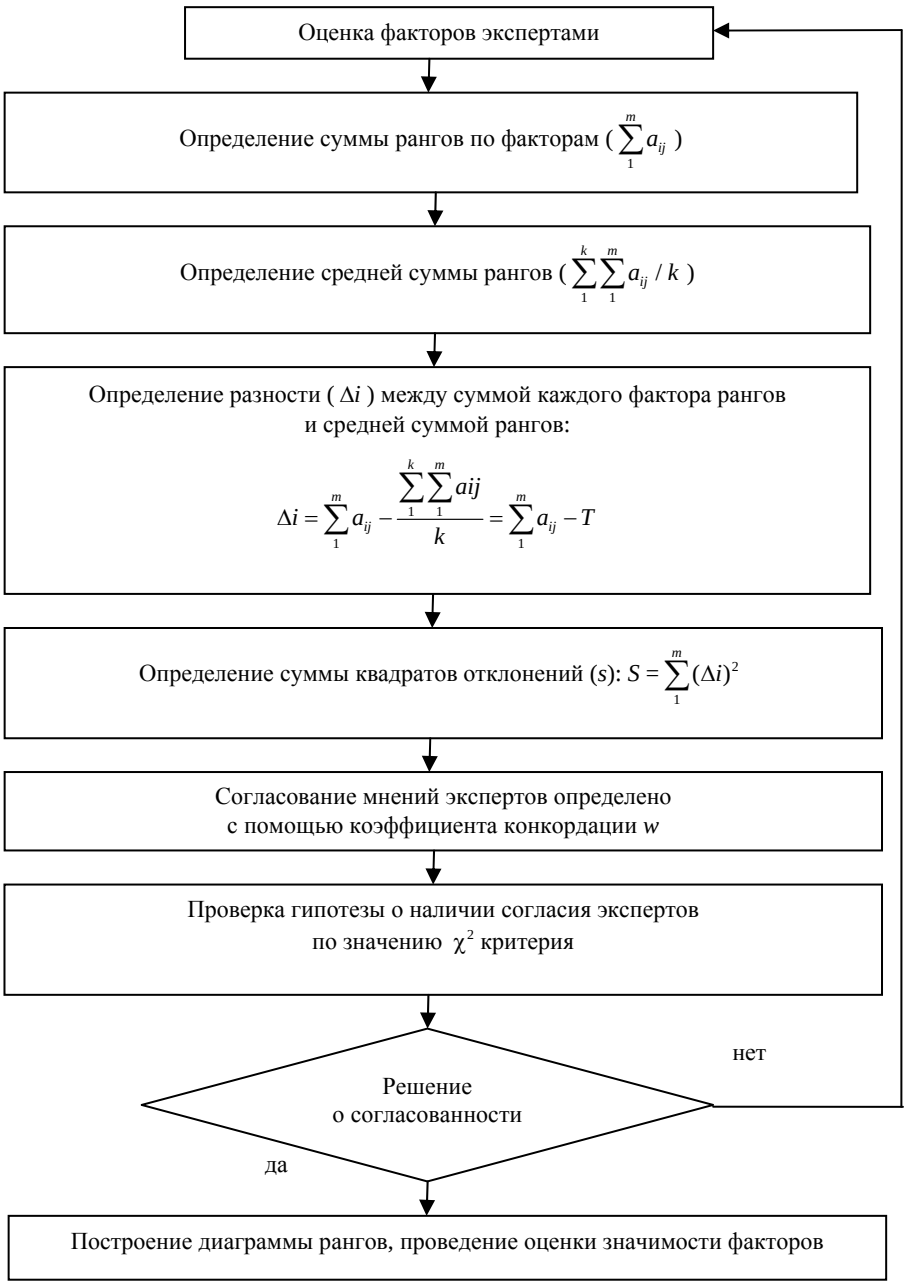


Рис. 3. Блок-схема метода априорного ранжирования факторов [15]

Для установления факторов и построения математической модели зависимости показателя комфортности объектов озеленения общего пользования от множества совокупно действующих факторов использованы *множественный корреляционный и регрессионный анализы*.

С целью изучения влияния антропогенных факторов на объекты озеленения общего пользования проведена классификация объектов исследования по следующим группам:

- по градостроительному назначению (общегородские и районные виды объектов озеленения общего пользования Волгограда); по категории и размерам площади;

- по функциональному назначению (многофункциональные и специализированные виды объектов озеленения общего пользования).

Анализ объектов озеленения общего пользования Волгограда показывает, что рассматриваемые объекты распределены по административным районам неравномерно: большинство жителей находится вне зоны благотворного влияния (рекреационное, оздоровительное и эстетическое) зеленых насаждений. Результаты расчета влияния объектов озеленения общего пользования Волгограда на жилую застройку приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние объектов озеленения общего пользования на качество территории жилой застройки районов Волгограда (баланс территории по трем установленным зонам)

Объекты озеленения общего пользования	Площадь территории в зоне влияния объектов		Соотношение количества людей, проживающих в зоне влияния объектов, и общего числа жителей всего района	Процент соотношения количества людей, проживающих в зоне влияния объектов, и общего числа жителей всего района (% от 100 %)
	Площадь зоны, км^2 / площадь района, км^2	% от 100 % площади района		
1	2	3	4	5
Центральный район				
1 зона	3,01/11,20	27	22 300/85 553	26
2 зона	5,41/11,20	48	44 350/85 553	51
3 зона	7,11/11,20	69	57 650/85 553	67
Краснооктябрьский район				
1 зона	4,39/34,20	13	25 600/150 659	17
2 зона	8,62/34,20	25	44 000/150 659	29
3 зона	11,45/34,20	33	54 060/150 659	36

Анализ данных показывает, что 69 % территории Центрального административного района Волгограда находится в зоне благотворного влияния объектов озеленения общего пользования, а в Краснооктябрьском административном районе Волгограда — только 33 %. По градостроительным нормам это влияние должно охватывать не менее 80...90 %.

На следующем этапе исследования определяются значимые факторы и параметры, оказывающие влияние на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования Волгограда, а также проводится ранжирование объектов озеленения с помощью метода анализа иерархий (МАИ) [16].

Использование МАИ [17] позволяет провести декомпозицию и представление задачи в иерархической форме. На первом уровне определена общая цель — оценка группы факторов влияния на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования; на втором уровне — группа антропогенных факторов, уточняющих цель; на третьем уровне — объекты озеленения общего пользования Волгограда, которые оценивались по отношению к критериям второго уровня (по 12 факторам).

В модели создана полная динамическая иерархия, в которой каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижерасположенного уровня.

После иерархического описания проблемы в предложенном методе устанавливаются приоритеты критериев группы факторов каждой из альтернатив (то есть объекты озеленения общего пользования Волгограда) с целью выявления самой важной из них [18], что позволяет ранжировать исследуемые объекты (табл. 2).

Таблица 2

Интегральный показатель влияния группы факторов на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования

Объекты озеленения общего пользования	Оценка группы факторов, оказывающих влияние на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования	
	Интегральные приоритеты	Ранг (рейтинг)
Лесопарк Мамаев курган	0,564	1
ЦПКиО	0,544	2
Парк 2-й очереди Набережной	0,367	3
Парк Победы	0,191	4
Городской сад	0,148	5
Комсомольский сад	0,059	6
Среднее значение вектора интегральных приоритетов	0,312	—

Проведенный расчет позволяет точно оценить, какой из рассмотренных объектов озеленения общего пользования Волгограда неблагополучен с точки зрения критериальной оценки и выявить группу факторов и параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования.

Оценка группы факторов антропогенного воздействия показывает, что из 6 объектов Центрального района города Волгограда, выделенных для проведения исследования, на объекты озеленения общего пользования (Лесопарк Мамаева кургана, ЦПКиО, Парк Победы и Городской сад) в наибольшей степени влияют группы факторов химического и физического воздействия, а также планировочные факторы.

Для проведения математической обработки степени влияния группы антропогенных факторов на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования Центрального и Краснооктябрьского административных районов Волгограда применены методы корреляционного и регрессионного анализа. На основании значений векторов приоритетов из каждой группы рассмотренных факторов для проведения анализа выделены следующие параметры:

1) из группы факторов химического и физического воздействия:

- выбросы углекислого газа;
- шум от автотранспорта;

2) из группы планировочных факторов:

- площадь территории;
- площадь озеленения.

Расчет значений коэффициента регрессии проведен методом многошагового регрессионного анализа.

Полученное уравнение регрессии имеет следующий вид [19]:

$$К = 0,32 + 0,008x_1 – 0,0006x_2 – 0,088x_3, \quad (1)$$

где К — значение показателя комфортности объектов озеленения общего пользования; x_1 — шум от автотранспорта; x_2 — площадь озеленения; x_3 — наличие защитной полосы.

Величина множественного коэффициента детерминации составляет $R^2 = 0,787$, что подтверждается проверкой значимости уравнения регрессии. Уровень множественного коэффициента детерминации свидетельствует, что 78,7 % вариации результативного признака — показателя комфортности объектов озеленения общего пользования — объясняется влиянием трех факторов: шумом, площадью озеленения, наличием защитной полосы.

Поскольку указанный уровень влияния антропогенных факторов достаточно высок, считаем, что все факторы, оказывающие существенное воздействие на показатель комфортности объектов озеленения общего пользования Волгограда, включены в модель. Уровень остаточной вариации составляет 21,3 %, что объясняется влиянием случайных факторов. В полученном уравнении регрессии математическая сущность коэффициентов указывает степень влияния каждого фактора на показатель комфортности объектов. О характере влияния каждого фактора свидетельствуют знаки коэффициентов.

Предложенная методика определения показателя комфортности объектов озеленения общего пользования может быть использована на градостроительных этапах, а именно на стадии проектирования и реконструкции.

При это следует учитывать поэтапное проведение расчетов исследований, то есть стадий градостроительного проектирования (рис. 4, табл. 3).

1. Стадия проектирования генерального плана поселения и генерального плана городского округа. В картах планируемого размещения объектов местного значения поселения или городского округа и в карте функциональных зон поселения или городского округа необходимо:

- распределять объекты озеленения общего пользования с учетом их влияния по трем зонам для установления уровня озелененности территории;
- использовать модель (формула 1) для определения показателя комфортности объекта озеленения общего пользования
- устанавливать уровень объектов озеленения общего пользования, с учетом значения показателя комфортности объектов (табл. 4);
- размещать объект так, чтобы значение показателя комфортности не превышало 0,50 — прогнозируемой антропогенной нагрузки на объект озеленения общего пользования.

2. Стадия проекта планировки, а именно в материалы ее обоснования:

- для повышения качества городской среды размещать объекты озеленения общего пользования в разделе «Иные материалы», «Графическая часть для обоснования положений о планировке территории» (с учетом табл. 3 и 4).

Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения показателя комфортности [19]

Таблица 3

Основные уровни для установления показателя комфортности объектов озеленения общего пользования на стадиях проектирования [19]

Достижение цели исследования	Результат
I. Метод расчета площади объектов озеленения общего пользования и их влияния на качество городской среды	
1. Выявить три зоны влияния объекта озеленения общего пользования на качество городской среды: зона воздухообмена (оздоровительная); радиус доступности (рекреационная); визуальное восприятие территории объекта озеленения общего пользования (эстетическая)	Тематические схемы

Окончание табл. 3

Достижение цели исследования	Результат
2. Выявить три зоны влияния городской среды на объект озеленения общего пользования: акустическое воздействие; визуальное влияние застройки; зона активного влияния СО	Тематические схемы
3. Разработать расчетно-графические материалы по моделированию и натурному исследованию территорий районов города путем наложения сетки квадратов для определения уровня озелененности жилой зоны	Тематические схемы
II. Следуя методу расчета выделения кислорода растительностью объектов озеленения общего пользования	
Определить вклад объектов озеленения общего пользования в атмосферный баланс городской среды	Графики распределения кислорода по территории города
III. Установить градацию значения показателя комфортности объектов озеленения общего пользования в интервале 0...1	

Таблица 4

Определение градации значения показателя комфортности объектов озеленения общего пользования [19]

Показатель комфортности объектов	Уровень рекреации	Рекомендации по использованию территории
0...0,25	Весьма благоприятный	Рекомендовано без ограничений
0,26...0,50	Благоприятный	Рекомендуется использовать с внесением незначительных изменений в планировочную структуру объекта озеленения общего пользования
0,51...0,75	Относительно благоприятный	Рекомендуется использовать ограниченно без реализации проекта по улучшению защитной полосы
0,76...1,0	Неблагоприятный	Не рекомендуется использовать без реализации комплекса планировочных изменений и комплекса защитных мероприятий от воздействия антропогенной нагрузки

Значения показателя комфортности объектов озеленения общего пользования, определенные по предложенной методике, возможно использовать при проведении анализа различной градостроительной ситуации расположения объектов озеленения общего пользования и в установлении их влияния на качество застройки с учетом природного и искусственного ландшафта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Прокопенко В. В., Косицына Э. С.* Эколого-гигиенический каркас рекреационных территорий // Научный потенциал молодых ученых для инновационного развития строительного комплекса Нижнего Поволжья: материалы Международной науч.-практич. конф., 24 декабря 2010 г., Волгоград: [в 2 ч.]. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. Ч. II. С. 169—171.

2. *Герцберг Л. Я.* Качество городской среды: проблемы проектирования и реализации // Теория градостроительства. 2013. № 2 (24). С. 29—33.

3. *Hager G.* Groser Garten Hannover — Hcrrenhauscn // Garten +Landschaft. 1998. № 7. S. 10—13.

4. *Arnold F.* Pare de Bercy in Paris // TOPOS, European Landscape Magazine. 1998. № 22. Pp. 87—93.

5. *Arnold F.* Frankreich: Zur Sdadt beitgarden = France: doing something for cities // TOPOS, European Landscape Magazine. 1999. № 27. Pp. 6—15.

6. *Grandell G.* Zwei Plazas von Martha Schwartz // Garten +Landschaft. 1999. № 5. S. 9—13.

7. *Eckert R., Kuczma N.* Der Georgengarten // Garten +Landschaft. 2001. № 11. S. 28—30.

8. *Прокопенко В. В., Косицына Э. С.* Система компонентов городского ландшафта // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 301—303.

9. *Прокопенко В. В., Ганжа О. А.* Разработка статистической модели оценки показателя качества ландшафтно-рекреационной территории на примере города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35(54). С. 199—202.

10. *Прокопенко В. В., Костюченко И. В.* Коммуникационные связи большого города (на примере города Камышина) // XII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, Волгоград, 6—9 ноября 2012 г.: тез. докл. Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. С. 25—26.

11. *Прокопенко В. В., Косицына Э. С.* Методика определения равномерности объектов озеленения по районам города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 30(49). С. 284—287.

12. *Прокопенко В. В.* Оценка индекса качества ландшафтно-рекреационной территории Волгограда // Состояние, проблемы и перспективы развития социально ориентированного строительного комплекса на региональном уровне: материалы II Рос. науч.-техн. Интернет-конф., посвящ. 10-летию Себряковского филиала ВолгГАСУ и 60-летию ВолгГАСУ, 12 марта 2012 г., г. Михайловка. Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. С. 98—101.

13. *Прокопенко В. В.* Методика определения равномерности объектов озеленения по районам города // XII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, Волгоград, 6—9 ноября 2012 г.: тез. докл. Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. С. 36—37.

14. *Луканин В. Н., Буслаев А. П., Яшина М. В.* Автотранспортные потоки и окружающая среда. М.: Инфра-М, 2001. 646 с.

15. *Прокопенко В. В., Косицына Э. С.* Методика субъективной оценки расчета качества ландшафтно-рекреационной территории // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 32(51). С. 253—256.

16. *Саати Т. Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / пер. с англ. 2-е изд. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.

17. *Ганжа О. А.* О применении метода анализа иерархий (МАИ) в оценке факторов, влияющих на уровень шума в зоне перекрестка // Шестая Международная науч.-практич. конф. (1—4 апреля 2008 г.) «Проблемы и перспективы развития жилищно-коммунального комплекса города». М: Моск. ин-т коммун. хоз. и стр-ва, 2008. С. 45—49.

18. *Ганжа О. А., Соловьева Т. В.* Разработка статистической модели, устанавливающей зависимость эквивалентного уровня звука в зоне регулируемого перекрестка от планировочных и транспортных факторов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2008. Вып. 11(30). С. 158—162.

19. *Прокопенко В. В., Ганжа О. А.* К вопросу о методах оценки показателя комфортности ландшафтно-рекреационных территорий крупнейших городов (на примере города Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 40(59). С. 73—88.

© Ганжа О. А., Прокопенко В. В., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Ганжа О. А., Прокопенко В. В. К вопросу о методике, определяющей показатель комфортности объектов озеленения общего пользования (на примере города Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 136—148.

Об авторах:

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ganzha_olga@mail.ru

Прокопенко Вячеслав Валентинович — старший преподаватель, Волжский институт строительства и технологий (ВИСТех) — филиал ВолгГАСУ. Российская Федерация, 404111, г. Волжский, пр. Ленина, 72

O. A. Ganzha, V. V. Prokopenko

TOWARDS TECHNIQUE DEFINING THE INDICATOR OF COMFORT OF OBJECTS OF PLANTING (BY THE EXAMPLE OF THE CITY OF VOLGOGRAD)

The authors develop the technique of determination of the indicator of comfort of objects of planting reflecting the influence of anthropogenic group of factors on the condition of the environment in the objects and their recreational value in the structure of the territory intended for building.

K e y w o r d s: recreation, system of planting, objects of planting, indicator of comfort.

REFERENSES

1. Prokopenko V. V., Kositsyna E. S. [Environmental and health framework of recreational territories]. *Nauchnyi potentsial molodykh uchenykh dlya innovatsionnogo razvitiya stroitel'nogo kompleksa Nizhnego Povolzh'ya: materialy Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf., 24 dekabrya 2010 g., Volgograd: v 2 ch.* [Scientific potential of young scientists for innovative development of construction complex in Lower Volga region. Proc. Int. Conf., 24 December, 2014, Volgograd. In 2 pt.]. Volgograd, VSUACE Publ., 2011. Pt. II. Pp. 169—171.

2. Gertsberg L. Ya. [Quality of the urban environment: problems of projecting and implementation]. *Teoriya gradostroitel'stva* [Theory of Town Planning], 2013, no. 2(24), pp. 29—33.

3. Hager G. Groser Garten Hannover — Hcrrenhauscn. *Garten +Landschaft*, 1998, no. 7, s. 10—13.

4. Arnold F. Pare de Bercy in Paris. *TOPOS, European Landscape Magazine*, 1998, no. 22, pp. 87—93.

5. Arnold F. Frankreich: Zur Sdadt beitgarden = France: doing something for cities. *TOPOS, European Landscape Magazine*, 1999, no. 27, pp. 6—15.

6. Grandell G. Zwei Plazas von Martha Schwartz. *Garten +Landschaft*, 1999, no. 5, s. 9—13.

7. Eckert R., Kuczma N. Der Georgengarten. *Garten +Landschaft*, 2001, no. 11, s. 28—30.

8. Prokopenko V. V., Kositsyna E. S. [System of component city landscape]. *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], 2012, iss. 28(47), pp. 301—303.

9. Prokopenko V. V., Ganzha O. A. [Development of strategic assessment model for quality level of landscape and recreation territory by the example of Volgograd oblast]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2014, iss. 35(54), pp. 199—202.

10. Prokopenko V. V., Kostyuchenko I. V. [Communication relations of a big city (by the example of the city of Kamyshin)]. *XII regional'naya konferentsiya molodykh issledovatelei Volgogradskoi oblasti, Volgograd, 6—9 noyabrya 2012 g.: tez. dokl.* [XII Regional Conference of Young Researchers from Volgograd Oblast, Volgograd, 6—9 November, 2012]. Volgograd, VSUACE Publ., 2013. Pp. 25—26.

11. Prokopenko V. V., Kositsyna E. S. [The methods of determination of equitability of objects of gardening in city districts]. *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], 2013, iss. 30(49), pp. 284—287.

12. Prokopenko V. V. [Assessment of quality index of landscape and recreational territory in Volgograd]. *Sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya sotsial'no orientirovannogo stroitel'nogo*

kompleksa na regional'nom urovne: materialy II Ros. nauch.-tekhn. Internet-konf., posvyashch. 10-letiyu Sebryakovskogo filiala VolgGASU i 60-letiyu VolgGASU, 12 marta 2012 g., g Mikhailovka [State, problems and development prospects of socially oriented construction complex on the regional level. Proc. II Russian Sci. and Tech. Internet-Conf., 12 March, 2012, Mikhailovka]. Volgograd, VSUACE Publ., 2012. Pp. 98—101.

13. Prokopenko V. V. [The methods of determination of equitability of objects of gardening in city districts]. *XII regional'naya konferentsiya molodykh issledovatelei Volgogradskoi oblasti, Volgograd, 6—9 noyabrya 2012 g. : tez. dokl.* [XII Regional Conference of Young Researchers from Volgograd Oblast, Volgograd, 6—9 November, 2012]. Volgograd, VSUACE Publ., 2013. Pp. 36—37.

14. Lukanin V. N., Buslaev A. P., Yashina M. V. *Avtotransportnye potoki i okruzhayushchaya sreda* [Motor transport flows and the environment]. Moscow, Infra-M Publ., 2001. 646 p.

15. Prokopenko V. V., Kositsyna E. S. [Procedure of subjective assessment of calculation of landscape and recreational territory quality]. *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], 2013, iss. 32(51), pp. 253—256.

16. Saaty T. L. *Prinyatie reshenii pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskie seti* [Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process]. 2nd ed. Moscow, Librokom Publ., 2009. 360 p.

17. Ganzha O. A. [Application of hierarchy analysis method (HAM) in the assessment of factors influencing noise level in road crossing zone]. *Shestaya Mezhdunarodnaya nauch.-praktich. konf. (1—4 aprelya 2008 g.) «Problemy i perspektivy razvitiya zhilishchno-kommunal'nogo kompleksa goroda»* [Sixth Int. Sc.-Pr. Conf. (1—4 April, 2008) "Problems and development prospects of housing and utilities complex of a city"]. Moscow, Mosc. Inst. of Ut. and Const., 2008. Pp. 45—49.

18. Ganzha O.A., Solovyeva T.V. [Development of the statistical model setting dependence of equivalent sound level in the zone of a signal-controlled junction on planning and traffic factors]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2008, iss. 11(30), pp. 158—162.

19. Prokopenko V. V., Ganzha O. A. [To the issue of assessment methods of comfort of landscape and recreation territories in large territories (by 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], 2015, iss. 40(59), pp. 73—88.

For citation:

Ganzha O. A., Prokopenko V. V. [Towards technique defining the indicator of comfort of objects of planting (by the example of the city of Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2016, iss. 45(64). Pp. 136—148.

About authors:

Ganzha Ol'ga Aleksandrovna — Candidate of Engineering Science, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ganzha_olga@mail.ru

Prokopenko Vyacheslav Valentinovich — Senior Lecturer, Volzhskii Institute of Civil Engineering and Technology (VISTech) — Affiliate Institute of VSUACE. 72, Lenin Avenue, Volzhskii, 404111, Russian Federation

УДК 656(470.45)

Н. В. Коростелева, Е. В. Нестеренко

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

РАЗВИТИЕ ВЕЛОИНФРАСТРУКТУРЫ В ГОРОДАХ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ГОРОДСКУЮ СРЕДУ

Снижение негативного воздействия транспортной системы на городскую среду — одна из приоритетных задач градостроительства. В данной статье проведен анализ влияния велотранспорта на снижение негативного эффекта от транспортной системы городов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: транспортная система, велотранспорт, загрязнение окружающей среды.

На современном этапе развития мировой экономики велотранспорт для большинства развитых стран является важным видом внутреннего транспорта, играющим большую роль в обеспечении социального развития и замещения автомобильного транспорта в процессе перемещения населения внутри городских образований и в пригородных поездках. Массовое применение велотранспортных средств влечет за собой изменения во многих секторах экономики и в социальной сфере, ситуации на рынке труда, градостроительной политике, организации розничной торговли, отдыха и других аспектах жизни общества.

В настоящее время в наиболее развитых странах количество велосипедов намного превышает численность автомобильного транспорта, и количество велопоездок непрерывно возрастает. Велотранспорт развивается темпами, превосходящими темпы развития автомобильного транспорта. Так, в Германии ежегодно продается 4,5 млн велосипедов. Этому росту способствуют их объективные преимущества, дружественность по отношению к природе, потребность в сравнительно низких вложениях, дополненные значительным прогрессом в области дорожного строительства велотранспортных сетей и конструкций велотранспортных средств, а также широкое распространением представления о здоровом образе жизни. В практике развитых зарубежных стран установлена тенденция: рост качества жизни и состояния здоровья населения соответствуют средним темпам роста объемов перевозок велотранспортом, превышая при этом темпы роста объемов перевозок другими видами транспорта.

Велотранспорт создает целый спектр преимуществ. Он обеспечивает:

мобильность для всех, вне зависимости от возраста и дохода;

способствует укреплению здоровья;

не требует существенных затрат и выгоден экономически;

экологичен, не производит шума и не требует больших площадей для передвижения и парковок.

Привлекательные возможности велосипедного сообщения повышают туристические возможности городов. Кроме того, содействие велотранспорту обеспечивает рабочие места в велопромышленности, в торговле и различных областях услуг, связанных с велодвижением, и тем самым оказывает поддержку малому (нередко семейному) и среднему бизнесу.

К тому же за последние 10...15 лет, в результате многократного повышения уровня насыщения городов легковыми автомобилями, возникла транспортная проблема пропуска концентрированных автомобильных потоков и недостатка мест для временного хранения автомобилей. Наиболее напряженная обстановка, сопровождаемая часовыми заторами, сложилась в крупнейших городах при въезде в центральный район утром и при выезде из него в вечернее время.

Значительное увеличение количества легковых автомобилей сопровождается растущей и высокой интенсивностью их использования. Автомобили теперь используются круглогодично, еженедельно, ежедневно, увеличиваются их пробеги. Как следствие, возникают проблемы организация постоянного и временного хранения легкового автотранспорта. Эффективная эксплуатация индивидуального автомобильного транспорта во многом зависит не только от организации его движения и качества технического обслуживания, но и от условий хранения.

Каждый индивидуальный легковой автомобиль в среднем ежедневно находится в движении не более 1...3 ч (около 400...1000 ч в год), а на стоянках — от 21 до 23 ч в сутки. Эти обстоятельства недооцениваются в градостроительном проектировании [1].

Растущий парк автомобилей переместился во дворы, на газоны и на детские площадки, ухудшив экологические показатели и эстетический облик жилой среды, создав угрозу безопасности движения и ухудшив условия движения транспорта.

Велосипед выгоден с точки зрения значительной разгрузки дорог, которые практически в каждом крупном городе расширить в районе центра не удастся. Так, каждый вчерашний автомобилист на велосипеде — это минус один автомобиль, стоящий в пробке. Люди же, не имеющие авто и выбирающие велосипед, разгрузят маршрутки или автобусы, что тоже сократит количество необходимого транспорта более чем в 2 раза.

К тому же велосипед движется по городу со средней скоростью 17 км/ч и объезжает любые пробки. Средняя скорость перемещения автомобиля по городу составляет 25...30 км/ч, а в часы пик не превышает 13 км/ч.

Таким образом, велосипед значительно выигрывает у автомобиля в час пик, а возможность маршрута «от порога до порога» дает выигрыш в любое другое время дня. Выигрыш идет и по отношению к любому другому наземному транспорту, вынужденному стоять в пробках и набирать людей на всех остановках.

Велосипед также выгоден и потому, что площадь, необходимая для его парковки, в 8 раз меньше площади парковки автомобиля. Устроить многоуровневую парковку для велосипедов на ограниченной площадке у офисного центра, театра, стадиона, вуза — это просто и дешево, а для автомобилей — практически невозможно. Для парковки велосипеда можно также использовать разрывы между озеленением тротуаров (рис. 1).

Использование велосипеда — это профилактика многих заболеваний, преимущественно сердечно-сосудистых и дыхательных, а также действенное средство против стресса, возможность улучшить расположение духа и способ поддержки хорошей физической формы.

Рис. 1. Пример организации велосипедной парковки на улицах города

Автомобильный транспорт является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды. В масштабах Российской Федерации его доля в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу всеми техногенными источниками достигает 43 %, в выбросах парниковых газов — порядка 10 %. Доля автотранспорта в шумовом воздействии на население городов составляет 85...95 %. Повышенному риску и необратимой потере здоровья в результате загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом подвержено примерно 10...15 млн горожан.

Отдельную экологическую проблему представляют отходы автотранспортного комплекса. Ежегодно масса отработавших масел и спецжидкостей составляет около 300 тыс. т. Общая масса твердых отходов достигает 3 млн т. в год, в том числе лом и отходы черных металлов — 1,4 млн т, отходы резины — 1,16 млн т, свинцовые аккумуляторы — около 200 тыс. т. Ежегодной утилизации подлежит примерно 1,2 млн брошенных и разукомплектованных автотранспортных средств.

Величина суммарного экологического ущерба от функционирования автотранспортного комплекса достигает 1,5...2 % от ВВП и продолжает возрастать.

Развитие велотранспорта как составной части городской транспортной политики позволит не только смягчать и устранять нарастающие негативные эффекты, но и приносить ощутимые финансовые выгоды государству, решая при этом проблему загрязнения окружающей среды.

Так, согласно исследованиям, которые провела Европейская федерация велосипедистов, финансовая выгода, приносимая велосипедами по всему Евросоюзу, составляет более чем 200 млрд евро (здоровье — 121 млрд евро; туризм — 44 млрд евро; уменьшение числа пробок — 24; прибыль от «велосипедной» промышленности — 18 млрд евро; экономия топлива — 6 млрд евро; снижение выбросов CO^2 — 3 млрд евро; снижение загрязнения воздуха — 1 млрд евро; снижение уровня шума — 0,3 млрд евро) [2]. Эта цифра выражена в медицинских издержках, которых удается избежать благодаря лучшей физической форме и крепкому здоровью большинства людей, регу-

лярно пользующихся велосипедом. Другие выгоды также весьма очевидны: благодаря активному отдыху хорошо зарабатывает туристическое направление; чем больше велосипедистов в городах, тем меньше финансовых потерь от автомобильных пробок и меньше выбросов выхлопных газов. Плюсы, которые велосипедисты приносят Евросоюзу, приведены на рис. 2.

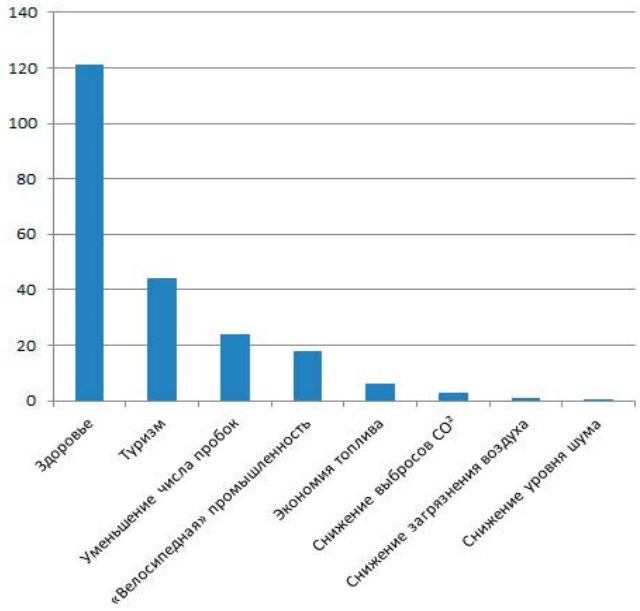


Рис. 2. Финансовая выгода, приносимая велосипедами по всему Евросоюзу (млрд евро)

Еще одним важным аспектом транспортной проблемы крупных городов является безопасность дорожного движения. Ситуация, которая сложилась в данной области, дает неутешительные прогнозы. Ежегодно в стране совершается более 200 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП). При этом погибает около 35 тыс. и получает ранения 200 тыс. человек. Удельные характеристики дорожной аварийности в развитых зарубежных странах — такие, как число погибших на 10 тысяч автотранспортных средств и на 100 тыс. человек населения — значительно хуже, чем для велотранспортных средств. Россия в сравнении с развитыми зарубежными странами характеризуется самым высоким уровнем риска гибели в ДТП и самым высоким уровнем тяжести последствий ДТП. Общий ущерб от дорожно-транспортных происшествий превышает 3 % от ВВП и продолжает возрастать. Передовой опыт доказывает, что развитие велотранспорта позволяет переломить эту тревожную тенденцию.

Зависимость количества тяжелых ДТП с участием велосипедистов от уровня развития велодвижения представлена на рис. 3 [2].

Диаграмма показывает, что интенсивность велодвижения и тяжелые ДТП имеют обратно пропорциональную зависимость, и, следовательно, развитие велотранспорта позволит в значительной степени улучшить безопасность дорожного движения.

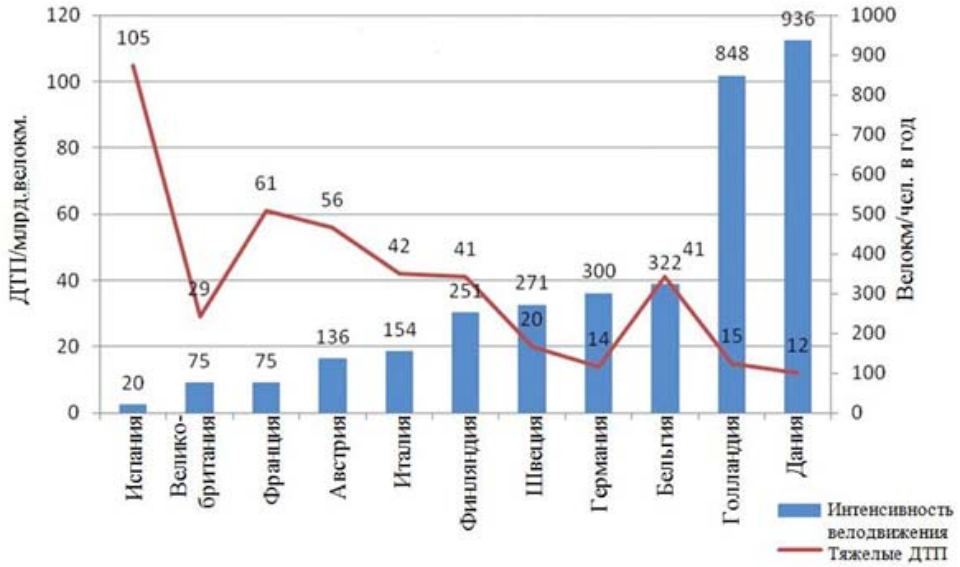


Рис. 3. Зависимость количества тяжелых ДТП с участием велосипедистов от уровня развития велодвижения

Следовательно, можно утверждать, что времена автомобильного бума в России подходят к финалу. Автомобиль как признак состоятельности начинает выходить из моды. Наступает очередной этап развития. На сегодняшний день во многих крупных городах России ведется активное развитие велоинфраструктуры. Разработаны концепции развития велотранспортных систем для Москвы, Санкт-Петербурга, Казани и пр.

Для стимулирования активного использования велосипедного транспорта на территории РФ достаточным основанием являются: дорожные заторы, загрязнение воздуха, шумовое загрязнение, ухудшение здоровья нации, нехватка энергоносителей и повышение их стоимости, увеличение затрат потребителей и ухудшение условий землепользования в результате активного использования автомобилей как приоритетного вида транспорта.

В генеральных планах городов России развитие велотранспортной сети как части единого транспортного комплекса не предусматривается. К созданию велоинфраструктуры городские власти относятся как к второстепенному делу. Отсутствуют нормативы по расчетной плотности велодорог, по параметрам краткосрочного и долгосрочного хранения велотранспорта в разных условиях (жилых домах, придомовой территории и на улицах), отсутствует классификация велодорожной инфраструктуры по типам эксплуатации, конструктивным особенностям и требованиям безопасности.

В настоящее время в наиболее развитых странах количество велосипедов намного превышает численность автомобилей, и количество велопоездок непрерывно возрастает. В большинстве развитых стран велотранспорт развивается темпами, превосходящими темпы развития автомобильного транспорта. Так, в столице Дании Копенгагене более 30 % населения совершают ежедневные поездки на велосипеде [3]. В практике развитых зарубежных стран установлена тенденция: рост качества жизни и состояния здоровья населения соответству-

ют средним темпам роста объемов перевозок велотранспортом, превышая при этом темпы роста объемов перевозок на других видах транспорта. Массовое применение велотранспортных средств повлекло за собой изменения в ряде секторов экономики и социальной сфере, градостроительной политике, организации отдыха, других аспектах жизни общества. При этом процесс развития велотранспорта принял, по существу, повсеместный характер. В настоящее время в наиболее развитых странах, например, в Нидерландах, в Амстердаме, протяженность городских велодорожек составляет более 400 км, и многие туристы с удовольствием присоединяются к местным жителям и рассматривают достопримечательности с седла велосипеда. В Берлине для велосипедного сообщения используется около 640 км велодорожек [3].

Для сравнения: в Москве общая протяженность велодорожек составляет всего лишь 146 км[*], а в Волгограде вообще отсутствуют специализированные велодорожки и велосипедистам приходится использовать тротуары или совершать движение по проезжей части, что не безопасно и повышает риск возникновения тяжелых дорожно-транспортных происшествий.

К тому же в странах ЕС значительная доля перевозок мелких грузов выполняется велотранспортом, относящимся к так называемому транспорту общего пользования. Так, его доля в объеме перевозок мелких грузов в Великобритании составляет около 10 %, в Германии на малые расстояния (до 15 км) коммерческим велотранспортом доставляется около 30 % небольших грузов (пицца, почта, посылки, мелкие заказы), а на ближние расстояния (до 5 км) — до 40 %. В указанных странах в осуществлении пассажирских перевозок ведущее место принадлежит личным легковым автомобилям (до 80 % от всего объема), однако за последние годы из-за перегруженности дорог легковым автотранспортом принимаются меры по преимущественному развитию общественного и велосипедного транспорта.

В ряде стран Юго-Восточной Азии, на Кубе существенную долю пассажирских перевозок осуществляют велотакси.

Как показывает опыт Финляндии и других северных стран с климатическими условиям, близкими Центральной России, велотранспорт может активно использоваться не менее 8 месяцев в году, благодаря чему успевает окупать все производимые на него затраты.

В связи со сложившейся на данный момент ситуацией на территории Российской Федерации необходимо уделять серьезное внимание развитию велотранспортной инфраструктуры. Для этого необходимо учитывать ряд требований и условий формирования велотранспортной сети:

- создание условий, обеспечивающих безопасность движения велотранспорта при совмещении движения автомобильного и велосипедного транспорта для маневрирования, остановки и стоянки автомобильного транспорта;

- создание преимуществ первоочередного размещения велодорог, наряду с дорогами для общественного транспорта, при распределении проезжей части дорог общего пользования при строительстве и реконструкции дорог в городах;

[*] Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы /Пресс-релизы/. Москва расширяет велосипедное пространство. 12.12.2013.

- размещение объектов технического обслуживания и проката велосипедов при организации велодорожной сети;

- создание на бульварах, аллеях велопешеходных и велосипедных дорогах площадок для кратковременного отдыха, оборудованных велопарковками;

- создание связи жилых зон населенных пунктов велосипедными дорогами с зонами социальной активности населения и зонами массового отдыха в пределах населенных пунктов и за их пределами;

- развитие велодорожной инфраструктуры в жилых зонах, на озелененных территориях, зонах отдыха и зонах, недоступных для других видов транспорта;

- создание велопешеходных бульваров и аллей, велопешеходных и велосипедных дорог с твердым покрытием по направлениям массовых потоков пешеходного и велосипедного движения;

- гарантировать требования по обеспечению безопасного велодорожного движения;

- обеспечивать количественный рост велотранспортного парка, социальные и транспортные потребности населения с учетом преимуществ велотранспорта;

- учитывать специфику использования велотранспорта в населенных пунктах;

- учитывать современное техническое разнообразие велотранспортных средств и мопедов в части габаритов, наличия и типов двигателей, шумовых и скоростных характеристик и т. п.;

- учитывать необходимость в закрытом хранении велотранспортных средств;

- предусматривать возможность организации парковок для велосипедов в зонах жилой застройки, под детскими и спортивными площадками, в непосредственной близости к жилым домам и в жилых домах;

- предусматривать возможности использования для велодвижения существующих автомобильных дорог (выделение полос, снижение максимальной разрешенной скорости на второстепенных дорогах и в населенных пунктах и др.);

- предусматривать возможности использования зеленых зон.

Генеральные планы городов должны предусматривать оснащение в обязательном порядке оборудованными местами для парковок велотранспортных средств и доступ к ним по сети велодорог следующих объектов:

- жилых зданий государственного, муниципального, ведомственного, частного жилищного фонда;

- детских учреждений дошкольного воспитания, образовательные учреждения всех видов уровней и специализации;

- административных зданий и сооружений;

- объектов культуры и культурно-зрелищных сооружении (театры, библиотеки, музеи, места отправления религиозных обрядов и т. д.);

- объектов и учреждений образования и науки, здравоохранения и социальной защиты населения;

- объектов торговли, общественного питания и бытового обслуживания населения, финансово-банковских учреждений;

- гостиниц, отелей, иных мест временного проживания;

- физкультурно-оздоровительных, спортивных зданий и сооружений, мест отдыха, парков, садов, лесопарков, пляжей и находящихся на их терри-

тории объектов и сооружений оздоровительного и рекреационного назначения, аллей и бульваров;

- учреждений отдыха, курортов;
- медицинских учреждений;
- объектов и сооружений транспортного обслуживания населения, связи и информации: железнодорожных вокзалов, автовокзалов, аэровокзалов, аэропортов, других объектов автомобильного, железнодорожного, водного и воздушного транспорта, обслуживающих население;
- станций и остановок всех видов городского и пригородного транспорта;
- почтово-телеграфных и других зданий и сооружений связи и информации;
- производственных объектов, объектов малого бизнеса и других мест приложения труда;
- прилегающих к вышеперечисленным зданиям и сооружениям территорий и площадей.

Таким образом, можно говорить о том, что благодаря широкому использованию велотранспорта возможно достичь важных результатов, к числу которых следует отнести:

1) снижение необходимости в наращивании общественного транспорта, обусловленное растущей долей личного велотранспорта в перевозках, в частности во внутрирайонном и межрайонном сообщении, что одновременно позволяет увеличить возможность более свободного передвижения населения;

2) ослабление затруднений, связанных с организацией городской среды в связи с частичным замещением потребности в автомобильных поездках и автостоянках;

3) сокращение в городе значительных помех и заторов в дорожном движении;

4) снижение негативного влияния на окружающую среду из-за вредных выбросов и шума от личного автотранспорта;

5) значительное сокращение дорожно-транспортных происшествий, основную часть участников которых составляют владельцы личных автомобилей;

6) сохранение и приобретение здоровья горожан, сокращение последствий гиподинамии населения, снижение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний;

7) удовлетворение запросов всех групп населения города независимо от их социального статуса на транспортную мобильность при значительно более низком уровне расходов;

8) снижение зависимости от городского транспорта в условиях сбоев в работе систем энергообеспечения или нарушения поставок энергоресурсов и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коростелева Н. В.* Анализ основных транспортных проблем Волгограда и пути их решения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 158—168.

2. Jack Oortwijn. 2nd Advocacy Summit: 500 Industry Members Needed. URL: http://www.bike-eu.com/industry-retail organizations/nieuws/2013/8/2nd-advocacy-summit-500-industry-members needed-10111556

3. *Lew J.* 10 bike-friendly cities around the globe. URL: http://www.mnn.com/green-tech/transportation/photos/10-bike-friendly-cities-around-the-globe/where-bicycles-rule/

© Коростелева Н. В., Нестеренко Е. В., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Коростелева Н. В., Нестеренко Е. В. Развитие велоинфраструктуры в городах как способ снижения негативного влияния транспортной системы на городскую среду // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 149—157.

Об авторах:

Коростелева Наталия Владимировна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, korostelevanv@mail.ru

Нестеренко Екатерина Владимировна — магистрант, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, katyanesterencko@mail.ru

N. V. Korosteleva, E. V. Nesterenko

THE DEVELOPMENT OF BICYCLE INFRASTRUCTURE IN THE CITIES AS A WAY TO REDUCE THE NEGATIVE IMPACT OF THE TRANSPORT SYSTEM

Reducing the negative impact of the transport system on the urban environment is one of the priorities of urban development. In this article the impact of bicycle transport on reduction of the negative effect of the transport system on the city is analyzed.

K e y w o r d s: transport system, bicycle transport, environmental pollution.

REFERENSES

1. Korosteleva N. V. [Analysis of major transport problems in Volgograd city and their solutions]. *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], 2015, iss. 41(60), pp. 158—168.

2. Jack Oortwijn. *2nd Advocacy Summit: 500 Industry Members Needed.* URL:: http://www.bike-eu.com/industry-retail organizations/nieuws/2013/8/2nd-advocacy-summit-500-industry-members needed-10111556

3. Lew J. *10 bike-friendly cities around the globe.* URL: http://www.mnn.com/green-tech/transportation/photos/10-bike-friendly-cities-around-the-globe/where-bicycles-rule/

For citation:

Korosteleva N. V., Nesterenko E. V. [The development of bicycle infrastructure in the cities as a way to reduce the negative impact of the transport system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2016, iss. 45(64). Pp. 149—157.

About authors:

Korosteleva Nataliya Vladimirovna — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, korostelevanv@mail.ru

Nesterenko Ekaterina Vladimirovna — Master's Degree Student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, katyanesterencko@mail.ru

УДК 72.017.4

Т. М. Потокина*, *А. Г. Карпенко

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ЦВЕТ КАК ЭЛЕМЕНТ СТРУКТУРИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Выявляются условия адаптации полихромии в архитектуре, анализируются основные тенденции структурирования социального пространства. Раскрываются разнообразные аспекты взаимодействия природы и архитектуры: их противопоставление и взаимосвязь, совокупность идейного и визуального воплощения цвета.

Ключевые слова: структурирование социального пространства, архитектурное пространство, комфортность жизнедеятельности человека в современной городской среде, стиль модерн, природа и архитектура.

Цвет — это одна из основ мироощущения человека и неизбежный фактор предметно-пространственной среды. Его богатое разнообразие дает возможность распоряжаться всеми этими свойствами цвета, формируя и строя архитектурное пространство. Цвет в архитектуре воспринимается и используется всесторонне, архитектура обращается не к одним только органам зрения, но ко всей совокупности чувственного и духовного восприятия человека. Полное восприятие архитектурного пространства возможно только в непрерывном движении, в последовательном перемещении в пространстве здания… Более чем какое-либо другое искусство, архитектура требует, чтобы ее переживали в непосредственном соприкосновении, в реальных условиях ее жизненного назначения [1—4].

Анализируя разнообразные свойства цвета, можно понять, что цвет может заключать в себе одновременно и образ, и идею. Он в данном случае выступает посредником в отношениях человека с миром. Цвет создает образ художественного пространства в значении воспринимаемой совокупности идейного и визуально воплощенного.

Архитектура как пространственно-организованная среда, окружающая человека, в значительной мере формируется цветом, а форма обусловливается функциональным назначением архитектурного объекта и идейно-художественной концепцией. Современная архитектурная ситуация в наших городах далека от совершенства. Современные исследования ученых подтверждают значение и воздействие окружающей среды на человека, в сложном взаимодействии с которой человеческая личность формируется и развивается. Без способности приспосабливаться к окружающей среде, ее внешним раздражителям человек не может существовать. Природное своеобразие окружающего мира сформировало отношение человека к цвету, а отклонение от привычных цветосочетаний вызывает тревогу, обостряет реакцию людей, сбивает ориентацию в пространстве. При помощи цвета появляется возможность управлять зрительным ощущением формы архитектурных объектов и создавать комфортную среду проживания [5].

Концепция цветовой среды всегда строится на знаниях зрительного изменения формы, развитии и сопоставлении различных цветовых сочетаний,

способности полихромии формировать внутреннее и внешнее пространство. Процесс структурирования пространства закономерно складывается под влиянием различных факторов: социальных, функциональных, эстетических, психофизиологических [6] и т. д.

Цвет — мощный психологический индикатор. Проектируя архитектурную ситуацию и используя цветовое решение, архитектор пытается направить, а порой и предопределить реакцию человека на цвет, в определенной мере программирует эту реакцию. Прогноз цветового воздействия делается на основе знаний и представлений, которые имеются в арсенале архитектора. Это происходит путем исследования проблемы, построения обобщенного системного эталона «цветовая среда» для каждой конкретной ситуации. Идея, выраженная в цвете, опирается на то, как человек воспринимает этот цвет, и как цвет воздействует на него. На протяжении многих веков собирались и накапливались сведения о роли цвета в жизни человека, строилась цветовая символика. Все периоды развития общества характерны своими цветовыми идеями в архитектуре [7].

В процессе восприятия архитектурного пространства, формирования эмоционально окрашенных образов и представлений выявляются разнородные характеристики: линейные, цветовые, пластические, пространственные, которые синтезируются и сплавляются в единое целое. Целостность является важнейшим свойством человеческого восприятия, и чтобы визуальные характеристики социальных объектов среды отвечали этому свойству, среда должна обязательно обладать признаками целостности, заложенными в нее в процессе организации [8]. Принцип целостности и соподчиненности, выделение главного и второстепенного, равновесие вокруг пространственных осей (для человека важна вертикальная ось) — все это признаки построения архитектурного пространства. В формовании социальной среды социальные процессы (идеологические установки) и принципы построения архитектурного пространства структурируются в городе [9].

Цветовая организация пространства и восприятие форм объективно взаимосвязаны средствами создания эмоционального воздействия на уровне социального пространства и определяются организацией некоторых процессов. Концепция формирования эмоциональности пространства приводит к богатству форм и пластики, эстетическому восприятию, сложной силуэтности объектов, разнообразию полихромии. Средства этих уровней подчиняются архитектурному замыслу и, в первую очередь, организации самих процессов жизнедеятельности.

Содержание архитектурного стиля всегда выражается в его направленности, формах, деталях, материалах. Это может быть стиль, представляющий эпоху, без личностных желаний, индивидуальных устремлений, основанный на представлениях эпохи, а может быть стиль, символизируемый конкретными архитектурными формами и определенным цветовым решением.

Полезность и красота — одни из основных начал в зодчестве. Достижение гармонического соотношения полезного и прекрасного, их взаимодействие как средство достижения целостности в архитектурной системе — приоритет современного зодчества. Органическая целостность является принципом организации разных архитектурных стилей. Гармония полезности и красоты строится на восприятии разнообразных подходов для построения

архитектурного пространства, которые дополняют и обогащают друг друга. Примером такого гармонического взаимодействия и взаимопроникновения формы и цвета является стиль модерн, появившийся на рубеже двух столетий [10] (XIX—XX вв.).

Формальная усложненность композиционной системы модерна всецело вытекает из теоретической установки на преобразование жизни средствами искусства, предусматривающей активное воздействие на природу каждого человека, поскольку модерн стремится к пересозданию всех людей через пересоздание каждого и потому сила его воздействия направлена на отдельную личность. Претензии модерна на творчество, пересоздание жизни находят выражение в целенаправленности созидаемого начала его формальной системы — в конструировании новых беспрецедентных форм, выработке новых приемов, ритмов, их тектоники, но он изыскивает прежде всего такие средства, приемы и формы, которые воздействуют на чувства [11].

Наряду с разработкой символических орнаментальных мотивов, изобразительных форм отдельных элементов, разнообразием материалов, модерн глубоко воспринял, разработал и использовал символику цвета, формируя цветообразы, выявляя разнообразные природные цвета отделочных материалов (дерево разных пород, цветное стекло природных оттенков, цветную смальту), используя железные детали и конструкции, их цвет и материал функционально и декоративно. Стиль модерн в лучших своих архитектурных зданиях старается все это трактовать художественно и утонченно. Архитектором разрабатывается все: от общего проекта до мебели и ручек дверей. При анализе конкретных архитектурных памятников, относящихся к этому стилю (особняк С. П. Рябушинского в Москве, архитектор Ф. Шехтель), становится понятным, что цвет и фактура материалов являются самостоятельным средством выразительности архитектурного сооружения, при этом исчезает одинаковость и монотонность восприятия объекта. Появляются гармония и разнообразие, которые создают неповторимые шедевры архитектуры, которые становятся образцовыми [12].

Человек всегда организует окружающий его мир согласно своим представлениям о порядке, красоте, гармонии, цвете, а цвето-пространственные композиции, созданные им, выражаются в наглядной и удобной для него форме. Эти тенденции проявляются в непосредственном жизнеустройстве, архитектурном облике городов, той среде, где человек живет. Цвет как главная составляющая окружающего нас мира всегда присутствует в мире ощущений людей, он является мощным эмоциональным и эстетическим фактором воздействия. Обладая наибольшей степенью эмоционального воздействия, цвет может выступать относительно независимым носителем определенного построения социального пространства [12]. Но социальное пространство имеет свои факторы структурирования, и данном контексте город следует понимать как целостное место собирания всех факторов и принципов построения пространства в единое целое, т. е. специфическое комфортабельное пространство обитания человека. Это пространство включает в себя собственно утилитарную функцию и духовную, эстетическую составляющую цвета. При этом мы всегда воспринимаем цвет в совокупности с целым рядом факторов и явлений, которые влияют на его восприятие настолько сильно, что один и тот же цвет в различных ситуациях может про-

изводить совершенно разное впечатление. Цвет устойчив и одновременно очень изменчив, при этом каждая эпоха создает свое представление об архитектуре, социальном пространстве города.

Углубляясь в сложное взаимодействие света и цвета, можно представить их элементами художественной формы, которые форму моделируют и строят архитектурное пространство. Эти физические элементы является необходимым условием зрительского восприятия, позволяющим нашему сознанию создавать мир зрительских образов. Собственные и обусловленные цвета под воздействием света изменяют внешние черты предметов, и на основе этих изменений в нашем сознании складывается представление о цвете и колорите того или иного архитектурного пространства. Собственный цвет, сохраняя относительное постоянство, приобретает разнообразные оттенки, отражающие условия освещения, за счет чего превращается в цвет обусловленный [7].

Световая среда постоянно и закономерно определяет светотень предметов и светотональные отношения пространства. С изменением световой среды изменяется цвет, светотень, выразительность рельефа. Все эти явления используются в архитектурном пространстве города, но кроме того происходят и постоянные изменения под воздействием привнесения новых социальных процессов. Город является пространственной организацией жизнедеятельности людей.

Неразрывность взаимоисключающих начал — самое общее, самое характерное свойство модерна, проникающее во все его уровни — формальный, идейный, смысловой. Идея цветового разнообразия моделирует в архитектурных объектах черты человеческой индивидуальности.

Архитектура как пространственно-организованная среда, окружающая человека, в значительной мере формируется с помощью цвета. Известно, что архитектурная форма обусловливается еще и функциональным назначением архитектурного объекта, а также идейно-художественной концепцией. Цвет же при определенных сочетаниях представляет собой средства выражения содержания архитектурного сооружения и его эстетических достоинств, он способен обогатить социальную среду эмоционально, эстетически, информативно [2].

Полихромия как сочетание различных цветов в объемно-пространственной форме может обладать и известной самостоятельностью, что влияет на зрительный эффект формообразования, вызывая ощущение принципиально новой объемно-пространственной формы. Становится возможным в процессе построения архитектурного и социального пространства управлять зрительным ощущением объемно-пространственной формы одного и того же геометрического вида путем развития в ней различных цветовых сочетаний.

Понятие «архитектурная полихромия» имеет разнообразное содержание. Во-первых, это система цветностей, сочетание цветов строительных и отделочных материалов, включая цветность малых форм. Во-вторых, это творческое применение цветностей в процессе создания композиции с использованием обновленных достижений в области цветоведения. Необходимо отметить многогранность формообразующего действия цвета в архитектурном ансамбле [13].

В окружающей среде цвет проявляется по-разному. В одном случае полихромия изменяет зрительное ощущение объема или пространства — это визуальное изменение с помощью цвета их величины и конфигурации; в другом — чередование цвета в этом пространстве определяет график движения и акцентирует внимание, здесь цвет выступает как средство ориентации. Если цвет создает оптимальный климат для пребывания человека, выстраивается цветовой ряд, создающий психофизиологический комфорт [14].

Концепция цветовой среды в архитектуре выстраивается на знаниях зрительного изменения формообразующего действия объемно-пространственной формы в результате развития и сопоставления различных цветовых сочетаний, способности полихромии формировать внутреннее и внешнее пространство архитектурных объектов. Творческое использование цвета как средства формирования архитектурной композиции становится эффективным при учете всего многообразия цветового действия. Процесс образования архитектурной формы закономерно складывается под влиянием различных факторов: социальных, функциональных, эстетических, психофизических и т. д. [15].

Эмоции — субъективная реакция на значимость явлений внешней и внутренней среды. К явлениям внешней среды и относится вся совокупность архитектурных объектов, а связь человека с окружающим его миром отражается с помощью ощущения и восприятия, при этом главным является восприятие. Ощущение и восприятие присутствуют на всех уровнях взаимодействия человека и среды, поэтому наличествует и эмоциональная доминанта. В пределах зрительного восприятия и ощущения различные признаки вызывают разную по интенсивности и качеству эмоциональную реакцию.

Эмоциональный фон ярко выражен в восприятии цвета: красный цвет обладает большей силой воздействия, чем голубой. Черный цвет сигнализирует опасность, угнетает (трудность ориентировки в темноте); зеленый цвет успокаивает, сосредотачивает; голубой связан с цветом открытого пространства, он может успокоить, но вызывает тревогу. Это касается и восприятия линий — их движение вниз ассоциируется с вялостью, вверх — с радостью и энергией. Прямые горизонтальные линии указывают на безжизненность, преобладание изломанных остроугольных линий вызывает чувство враждебности [16].

В процессе восприятия цвета, формировании эмоционально окрашенных образов и представлений выявляются разнородные характеристики чувственно воспринимаемого архитектурного сооружения: линейные, цветовые, пластические, пространственные, которые сплавляются и синтезируются в целое. Целостность — одно из важнейших свойств человеческого восприятия, и чтобы визуальные характеристики объектов и среды в целом отвечали этому свойству восприятия, социальная среда должна обладать признаками целостности, заложенными в нее в процессе организации.

Есть несколько закономерностей визуального структурирования пространства, обеспечивающих благоприятные условия ее восприятия, а следовательно и положительный эмоциональный фон для человеческой жизнедеятельности. Визуальная архитектурная форма невозможна без композиционного единства пространства, объема и цвета. Цельная зрительная ситуация складывается из объектов зрительского восприятия — линии, поверхности объема, пространства.

Важна повторяемость целого в частях, этот принцип построения пространства на основе сходства. Части целого обладают различными признаками, среди которых выделяется ведущий признак. Ведущим признаком в достаточно элементарном построенном объекте может быть какой-либо цветовой тон, тогда каждые части объекта в определенной степени должны содержать этот тон. Принцип соподчиненности служит для объединения частей в целое на основе различия. Выделяется главное, второстепенное и дополнительное. Этот принцип означает упорядоченность частей или групп элементов целого. Принцип соразмерности частей в целом состоит в согласовании частей по их метрическим характеристикам. Пропорции связаны с объективными закономерностями восприятия. Важную роль играет уравновешенность частей, которая дает уверенность восприятия окружающего пространства.

В интерьере для создания эмоционального и цветового воздействия особенно существенно ощущение физического контакта движущегося человека с окружением, здесь важны такие характеристики пространства, как его сужение или расширение, создающие впечатление сдавленности или простора, выраженная направленность или аморфность пространственных конфигураций. Организация пространства в этих ситуациях эмоционально воздействует в единстве с последовательной сменой впечатлений. Мы знаем, что движение в интерьере в сторону глухой стены с неожиданным поворотом принципиальным образом отличается от движения в сторону открытого пространства или светового проема. Существенны также изменения точек зрения, создающие особые эмоциональные структуры — узлы напряжения и разрядки, парения и сдавленности пространства.

Визуальный материал со всеми геометрическими, пластическими, цветофактурными характеристиками выступает особым источником эмоционального воздействия. В специфичности этого материала преломляется множество значений, которые несет в себе социальная среда в целом. Эмоциональные, психофизиологические и семантические свойства каждого цвета в отдельности достаточно хорошо изучены. В тоже время цветовые признаки, как и любые другие качественные характеристики визуального материала, не существуют отдельно от других разнообразных качеств пространственной среды и происходящих в ней процессов, от задуманного образа к утилитарной и художественной идее архитектурного объекта. Поэтому использованные цвета могут приобретать различные эмоциональные значения в зависимости от их роли в организации социальной среды [17].

Распространенная концепция эмоциональности архитектуры приводит ее к богатству формы и пластики, сложной силуэтности, разнообразию цветовых оттенков и изобразительных средств монументально-декоративного искусства. При проектировании организация пространства и восприятие форм объективно взаимосвязаны средствами создания эмоционального воздействия на уровне архитектурного пространства, пластика и цвет испытывают на себе влияние организации пространства и последовательной смены образов. Разные уровни средств подчиняются архитектурному замыслу и, в первую очередь, организации самих процессов деятельности. Важна роль некоторых собственно композиционных приемов построения пространства и форм, синтезирующих отдельные средства формирования эмоционального воздейст-

вия. Во многих случаях применение симметрии обусловлено именно эмоциональным содержанием этих процессов. Зеркальная симметрия крупных организующих форм пространства и объемов вызывает ощущение торжественности, триумфальности. Движение форм, подчиненное основному направлению, приобретает особую значимость (ритмическое чередование элементов среды, малых и больших залов, колонн и т. д.). При этом выделяются главные элементы, расположенные по оси симметрии, замыкающие движение и останавливающие направление взгляда. Центрическая постановка архитектурного элемента выявляет его смысловую значимость, создает эмоциональную кульминацию при восприятии. Композиционные приемы такого рода, синтезируемые в конкретной организации, отражают структурную взаимосвязь средств организации архитектурного и социального пространства.

Определенная самостоятельность цветовой гаммы на основе композиционного использования цвета способна сообщить архитектурной форме новое качество. Цвета объектов, сознательно выбранные архитектором, могут приводить к возникновению зрительно глубокого пространства, уплощению глубинности и, наконец, к плоскостной трактовке изображаемого пространства. При этом цвет несет еще и утилитарную функцию, которая помогает ориентироваться в пространстве, избегать опасных городских зон и т. д.

В окружающей нас среде цвет проявляется разнообразно. Цвет может изменить его величину и конфигурацию, чередование цвета может придать динамику пространству и сориентировать зрителя, цветовая гармония создает положительные эмоции человека в социальном пространстве. Порой эта цветовая данность соединяется во многих аспектах, но при этом человек постоянно ощущает образно-эмоциональное воздействие на себя. Все зависит от направленности цветовой композиции и задачи, которую выполняет архитектор, для чего для выявления идейно-художественного замысла композиции или его функционального значения используются различные свойства цвета. Архитектура как среда, окружающая человека, организующая его жизнь, в значительной степени формируется использованием цвета [18].

Как уже говорилось, архитектурная форма обусловливается функциональным назначением архитектурного объекта и идейно-художественной концепцией. Все элементы архитектурной формы и в значительной мере цвет при соответствующих оттенках и сочетаниях представляет собой средства выражения содержания того или иного сооружения и его эстетических достоинств. Это главная задача цвета в создании архитектурной формы и выявления архитектурных особенностей создания комфортного проживания людей в городской среде. Связывая объем и пространство, полихромия выступает как материал и инструмент для формирования архитектурной композиции. При этом полихромия в архитектуре наряду с цветом строительных материалов применяется на основе научной информации, и многогранность формообразующего действия цвета постоянно исследуется и развивается.

Основным признаком сооружения является пространство, целесообразно организованное для определенной социально значимой цели, воспринимаемое зрительно. Как и вся культура в целом, архитектура развивалась вместе с обществом, опираясь на многовековые результаты труда человека. Обладая на каждом этапе исторической конкретностью, архитектура несет общечеловеческое содержание, в основе которого находится народная культура. Един-

ство материального и духовного получает в ней прямое и целостное выражение. Архитектура всегда относилась к числу важнейших средств утверждения определенной идеологии. Среда, организованная архитектурой, ненавязчиво, но постоянно действует на эмоции, сознание и поведение человека. Создание эстетических ценностей — необходимая часть общественного назначения архитектуры [19].

Человек воспринимает не столько абсолютные качества формы, цвета, освещенности и т. д., сколько их соотношения — с фоном, предыдущим восприятием — все то, что создает в пространстве гармонию. Все гармоническое строится по определенной пропорциональной схеме. В цветовой композиции пропорциональность заключается в отношении яркостей, насыщенностей, цветовых тонов. Сильные цветовые раздражители берутся в несколько меньшем масштабе, чем слабые. Равновесие цветовой композиции создается соотношением цветовых поверхностей. Правая и левая части композиции должны быть загружены равномерно. По вертикали тяжесть распределяется обычно как в природе: верх — светлее и легче, низ — темнее и тяжелее. Ясность цветовых отношений проявляется в четкости композиции, ее тектоничности, закономерность в выборе цветов и их распределении должна быть недвусмысленно ясна.

Итак, творческая реализация распределения цветов должна раскрыть все достоинства, как художественные, так и утилитарные, при этом задача усложняется тем, что образ пространства формируется с разных точек восприятия. Развитие архитектурной формы вызывает развитие пространственного восприятия, что образует более сложную систему восприятия. Разные по масштабу цвето-пластические элементы могут быть центром, но порой выходят за его пределы. Развитое архитектурное пространство, в отличие фронтального, организуется вглубь, и восприятие становится трехмерным. Одновременное регулирование цветовых масс является одним из основных принципов цветовой организации социального пространства.

Процесс организации городского пространства в нашей стране часто протекал стихийно, но мы не можем позволить продолжать так и дальше. Современные технологии и материалы, опыт и предыдущие достижения в области архитектуры строительства не позволяют продолжать строить серые города. Наш богатый культурный и исторический опыт дает возможность создавать архитектурное пространство таким образом, чтобы люди, живущие в городах, в искусственно созданной среде, чувствовали окружающую их красоту, воплощенную в ландшафтных зонах, архитектурных сооружениях. Именно поэтому необходимо формировать городское пространство, которое не в последнюю очередь зависит и от социальных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Виппер Б. Р.* Статьи об искусстве. М.: Искусство, 1970. С. 363—365.

2. *Потокина Т. М.* Цветовое структурирование социального пространства: автореф. дис... канд. филос. наук. Волгоград, 2010.

3. *Иконников А. В.* Функция, форма, образ в архитектуре. М.: Стройиздат, 1986. 288 с.

4. *Ефимов А. В.* Колористика города. М.: Стройиздат, 1990. 272 с.

5. Дизайн архитектурной среды / Б. Минервин, А. П. Ермолаев, В. Т. Шимко, А. В. Ефимов. М.: Архитектура-С, 2005. 504 с.

6. *Lenklos J. Ph.* Les couleurs dans l architecture du Limousin.Typografica, Paris, 1982.

7. *Потокина-Курилкина Т. М.* Основы цветоведения и колористики: учебно-практическое пособие. Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. 186 с.

8. *Базазьянц С. Б.* Художник, пространство, среда. М.: Советский художник, 1983. 240 с.

9. Архитектурный ансамбль как форма реализации синтеза / под ред. И. А. Азизян, Л. Н. Кирилловой. М.: Стройиздат, 1990. 198 с.

10. *Гидион З.* Пространство, время, архитектура. М.: Стройиздат, 1973. 455 с.

11. *Кириченко Е. И.* Русская архитектура 1830—1910-х годов. М.: Искусство, 1982. 400 с.

12. *Фрилинг Г.* Человек — цвет — пространство. Прикладная цветопсихология. М., Стройиздат, 1973. 141 с.

13. *Itten I.* Kunst der Farbe Rawensburg. 1981.

14. *Volmar K.* Sprache i Macht der Farben. Witten, 2007. 178 s.

15. *Иконников А. В.* Художественный язык архитектуры. М.: Архитектура-С, 2004.

16. *Матусевич Н. З.* Ориентиры многообразия. Л.: Стройиздат, 1976. 215 с.

17. *Соловьев Н. В.* О структурной гармонии пластических искусств и архитектуры. М.: Советский художник, 1978. 326 с.

18. *Потокина Т. М.* Комплексный и индивидуальный подход к формированию колористики города // Проект 34. 2007. № 1. С. 24—29.

19. *Мурина Е. Б.* Проблемы синтеза пространственных искусств. М.: Искусство, 1982. 191 с.

© Потокина Т. М., Карпенко А. Г., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Потокина Т. М., Карпенко А. Г. Цвет как элемент структурирования социального пространства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 158—167.

Об авторах:

Потокина Татьяна Михайловна — канд. филос. наук, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, potokinacolor@yandex.ru

Карпенко Анна Геннадиевна — доцент кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, karpenko.61@mail.ru

T. M. Potokina, A. G. Karpenko

COLOUR AS AN ELEMENT OF THE STRUCTURING OF SOCIAL SPACE

The paper identifies conditions of adaptation of polychromy in architecture, analyzes the main trends in the structuring of social space. The authors show various aspects of interaction between nature and architecture: their opposition and relationship, the combination of ideological and visual embodiment of colour.

K e y w o r d s: structuring of social space, architectural space, comfort of human life in the modern urban environment, modern style, nature and architecture.

REFERENSES

1. Vipper B. R. *Stat'i ob iskusstve* [Articles on art]. Moscow, Iskusstvo Publ., 1970. Pp. 363—365.

2. Potokina T. M. *Tsvetovoe strukturirovanie sotsial'nogo prostranstva: avtoref. dis... kand. filos. nauk* [Color structuring of social space. Diss. Cand. Philosophy]. Volgograd, 2010.

3. Ikonnikov A. V. *Funktsiya, forma, obraz v arkhitekture* [Function, form, image in architecture]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1986. 288 p.

4. Efimov A. V. *Koloristika goroda* [Urban coloristics]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1990. 272 p.

5. Minervin B., Ermolaev A. P., Shimko V. T., Efimov A. V. *Dizain arkhitekturnoi sredy* [Design of the architectural environment]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2005. 504 p.

6. Lenklos J. Ph. *Les couleurs dans l architecture du Limousin*.Typografica, Paris, 1982.

7. Potokina-Kurilkina T. M. *Osnovy tsvetovedeniya i koloristiki. Uchebno-prakticheskoe posobie* [Principals of colour science and colouristics. Educational and practical book]. Volgograd, VSUACE Publ., 186 p.

8. Bazaz'yants S. B. *Khudozhnik, prostranstvo, sreda* [Artist, space, the environment]. Moscow, Sovetskii Khudozhnik Publ., 1983. 240 p.

9 Azizyan I. A., Kirillova L. N., ed. *Arkhitekturnyi ansambl' kak forma realizatsii sinteza* [An architectural complex as the form of synthesis implementation]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1990. 198 p.

10. Gidion Z. *Prostranstvo, vremya, arkhitektura* [Space, time, architecture]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1973. 455 p.

11. Kirichenko E. I. *Russkaya arkhitektura 1830—1910-kh godov* [Russian architecture of 1830—1910s]. Moscow, Iskusstvo Publ., 1982. 400 p.

12. Friling G. *Chelovek — tsvet — prostranstvo. Prikladnaya tsvetopsikhologiya* [Person — color — space. Applied color psychology]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1973. 141 p.

13. Itten I. *Kunst der Farbe Rawensburg*. 1981.

14. Volmar K. *Sprache i Macht der Farben*. Witten, 2007. 178 s.

15. Ikonnikov A. V. *Khudozhestvennyi yazyk arkhitektury* [Art language of architecture]. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2004.

16. Matusevich N. Z. *Orientiry mnogoobraziya* [Marks of the diversity]. Leningrad, Stroiizdat Publ., 1976. 215 p.

17. Solov'ev N. V. *O strukturnoi garmonii plasticheskikh iskusstv i arkhitektury* [On the structural harmony of the plastic arts and architecture]. Moscow, Sovetskii Khudozhnik, 1978. 326 p.

18. Potokina T. M. [Complex and individual approach to the formation of urban coloristics]. *Proekt 34* [Project 34], 2007, no. 1, pp. 24—29.

19. Murina E. B. *Problemy sinteza prostranstvennykh iskusstv* [Problems of synthesis of the spatial arts]. Moscow, Iskusstvo Publ., 1982. 191 p.

For citation:

Potokina T. M., Karpenko A. G. [Colour as an element of the structuring of social 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], 2016, iss. 45(64). Pp. 158—167.

About authors:

Potokina Tat'yana Mikhailovna — Candidate of Philosophical Sciences, Docent, Docent of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, potokinacolor@yandex.ru

Karpenko Anna Gennadievna — Docent of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, karpenko.61@mail.ru

УДК 502.3:613.9 (1-21)

О. А. Растяпина

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ УРБАНИЗАЦИИ НА БЛАГОПОЛУЧИЕ ГОРОДСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ

Рассмотрены преимущества и недостатки урбанизационного процесса. Проведен анализ статистических данных по основным факторам, характеризующим процесс урбанизации. Выявлена зависимость между увеличением городских жителей и изменением уровня ВРП, количеством выбросов, поступающих в атмосферу города, количеством загрязняющих веществ, поступающих в водоемы, и уровнем заболевания населения. Статистический анализ проведен по данным областей и краев РФ, а также Волгоградской области.

К л ю ч е в ы е с л о в а: урбанизация, процесс урбанизации, уровень выбросов загрязняющих веществ, влияние урбанизации на здоровье населения, влияние численности городских жителей на уровень ВРП, влияние численности городских жителей на количество выбросов загрязняющих веществ.

Процесс урбанизации происходит с давних времен, а начался 12...10 тыс. лет назад, когда появились первые города. Долгие столетия городские формы жизни были скорее исключением, чем правилом, вследствие господства таких форм производства, основу которых составляли натуральное хозяйство и индивидуальный труд. Так, в эпоху классического рабовладения город был тесно связан с земельной собственностью и сельскохозяйственным трудом. В феодальную эпоху основной функцией городской жизни было земледелие, поэтому городские поселения были рассеяны по обширной площади и слабо связаны между собой. Преобладание деревни как формы поселения в эту эпоху обусловливалось в конечном счете слабым уровнем развития производительных сил, что не позволяло человеку сколько-нибудь далеко оторваться от земли в экономическом отношении [1, 2].

Далее процесс урбанизации на различных территориях происходил разными темпами. Исторически города формировались как экономические центры, по мере развития инфраструктуры формировались новые функции городов — торговые. В зависимости от ресурсной базы на территории формировались промышленные предприятия, которые являлись основой развития экономической базы городов и решения демографической и социальной ситуации в них. Отношения между городом и деревней начинают изменяться под воздействием развития производительных сил. Объективной основой этих процессов было преобразование городского производства на базе мануфактуры, а затем и фабрики. Благодаря расширяющемуся городскому производству довольно быстро увеличивалась относительная численность городского населения. Промышленная революция в Европе в конце XVIII — первой половине XIX в. в корне преобразовала облик городов. Наиболее типичной формой городского поселения становятся фабричные города. Именно тогда была открыта дорога к быстрому наращиванию поселенческой среды, искусственно создаваемой человеком в процессе его производственной жизни. Эти сдвиги в производстве вызвали в развитии расселения новую историческую фазу, характеризуемую урбанизацией, которая означает рост доли населения страны, про-

живающего в городах и связанного главным образом с индустриализацией. Особенно высокие темпы урбанизации наблюдались в XIX в. за счет миграции населения из сельской местности. В современном мире продолжается интенсивный процесс формирования агломераций, конурбаций, мегаполисов, урбанизованных регионов. Процесс урбанизации протекает под влиянием функционального назначения городов [3].

Любой город — это система, определяемая комплексом показателей, причем может быть рассмотрена как внутренняя система (в точки зрения государства), так и внешняя. Каждый город включает в себя подсистемы: население, экономическую базу, инфраструктуру, а также природно-географические характеристики, во многом определяющие социально-экономическое развитие города. Каждый город характеризуется экономико-географическими и физико-географическими показателями, определяющими его функциональное назначение. Соответственно для выявления закономерности урбанизации, необходимо провести анализ города по указанным характеристикам. Чем крупнее город, тем больше градообразующих функций он имеет [4].

К характеристикам экономико-географического положения следует отнести: природно-географическое положение, состояние природных условий и ресурсов; промышленно-географическое положение, которое предполагает определение наличия источников сырья, топлива, энергии, возможности размещения обрабатывающей промышленности; аграрно-географическое положение, т. е. наличие и возможность развития сельского хозяйства; транспортно-географическое положение, изучение транспортной инфраструктуры; рыночно-географическое положение, возможность сбыта продукции; геодемографическое положение, возможность роста количества и качества трудовых ресурсов; политико-географическое положение, расположение города относительно столицы и границ. Считается, что наименее выгодное расположение — вдали от центра и от границ [5].

В качестве основных функций, определяющих урбанизационный процесс, следует отметить две группы: экономические и неэкономические. К экономическим функциям относятся: производственная (как мера развития производства), сельское хозяйство, инфраструктура (транспортная, инженерно-коммуникационная); торговая. К неэкономическим функциям относится административно-политическая (формирование культурных, научных центров; формирование сферы образования, здравоохранения). Реализация функций является стимулом урбанизационного процесса и служит своего рода переходом от одной стадии урбанизации к другой. Развитие указанных функций в городской черте позволит увеличить приток городского населения, а в сельском поселении будет стимулировать развитие сельскохозяйственной отрасли и формирование центров, увеличит приток сельского населения. Таким образом, необходима разработка административных методов для проведения процесса урбанизации и увеличения численности в различных формах поселений. В качестве основных административных методов следует отметить принятие и реализацию законов, регулирующих развитие функций поселения. Как отмечалось ранее, по мере развития города увеличивается количество его функций. Соответственно функции, которые изначально были заложены в основу города при его формировании, могут уйти на второй план по сравнению с новыми. По мере развития промышленности и притока рабо-

чей силы увеличивается численность населения, что влечет за собой увеличение социальной и сферы обслуживания, требуется развитие торговых площадок и инфраструктуры для реализации продукта, привлечение дополнительных административно-политических функций [6].

В качестве основных факторов, обеспечивающих рост уровня урбанизации в Китае, исследователи относят [7]:

1. Экономические факторы: высокие темпы экономики, рост новейших технологий, ускоренное развитие транспортной инфраструктуры.

2. Социальные факторы: увеличение доходов населения, уровня жизни, изменение структуры городов.

3. Миграционные и демографические факторы: рост производительности труда в сельском хозяйстве, ограничение рождаемости в городах.

4. Административные факторы: расширение границ городов, изменение статуса сельских населенных пунктов.

5. Внешние факторы: формирование городов, имеющих международное значение, прямые инвестиции в крупные города, развитие экспортного производства в небольших городах и поселках.

На процесс урбанизации влияет отраслевая направленность развития поселения, это своего рода стратегические отрасли промышленности (металлургия, машиностроение и т. п.). Для развития таких отраслей необходима подготовка кадров и постоянное пополнение более современными специалистами. Для определения оптимальной численности города необходимо определение нормативных соотношений трудовых ресурсов в зависимости от производства и его масштабов. Таким образом, можно определить оптимальную плотность поселения исходя из имеющейся территории и промышленной базы. Установлено, что чем крупнее город как экономический центр, тем шире его база и возможности для развития науки, культуры, и тем большее организационное влияние он способен оказывать на окружающую территорию и развивать у себя весь комплекс функций [8].

Процесс урбанизации имеет массу положительных моментов, среди основных — развитие населения и промышленной базы. Крупные города способны развивать промышленность более высокими темпами, что объясняется возможностью формирования экономической базы. Развитие промышленности приводит к развитию ряда социальных функций, а соответственно улучшается уровень обслуживания и развития населения городов. Другим преимуществом урбанизации является повышение производительности труда, и, как следствие, решение многих социальных проблем, связанных с увеличением рабочих мест. Итак, к основным достоинствам урбанизационного процесса следует отнести:

увеличение экономической базы городов;

развитие инфраструктуры;

формирование социальной и обслуживающей сфер;

повышение качества жизни, основанное на экономико-социальных показателях территории поселения.

Но у этого процесса есть и недостатки. Повышение производительности труда связано с ростом промышленных предприятий и увеличение нагрузки на окружающую среду. Многие исследователи связывают процессы урбанизации с экологическими катастрофами, которые объясняют перенаселением и

увеличением техногенной нагрузки [9, 10]. Научным центром по эпидемиологическим катастрофам проведены исследования. По результатам собранных данных самыми распространенными катастрофами являются тайфуны и штормы, которые составляют 34 % от общего числа, землетрясения — 13 %, наводнения — 32 %, засухи — 9 %. Природные катастрофы составляют 13 % от общего числа и связаны с имеющимися природно-географическими, геологическими особенностями территории [11, 12]. Другим недостатком урбанизации является деградация сельского хозяйства, из-за переселения сельских жителей в более крупные производственные агломерации.

Таким образом, к недостаткам процесса урбанизации следует отнести:

увеличение плотности населения;

увеличение экологической нагрузки на окружающую среду: шум, вибрация, электромагнитные излучения, электрический ток;

увеличение числа заболеваний [13—15].

Любая оценка воздействия на окружающую среду предполагает определение ее качественных свойств рядом показателей [16]. Экологическое воздействие человека на окружающую среду неизбежно. Окружающая среда способна воспринимать антропогенное воздействие и нейтрализовать или минимизировать возможные воздействия, но эта способность достаточно ограничена, превышение определенных лимитов воздействия на окружающую среду приводит к необратимым последствиям, управлять которыми человек не может [17].

Указанные недостатки урбанизации требуют привлечения особенного внимания к этому процессу и разработки мероприятий, направленных на оптимизацию городских поселений с точки зрения воздействия на окружающую среду. Для этого необходима оценка урбанизационной безопасности территории, определение ее максимальной емкости, а также формирование урбоэкологической политики применительно к основным местам приложения труда. Необходимо формирование понятия «емкость территории», которое будет отражать возможное воздействие и способность окружающей среды воспринимать это воздействие. Для оптимизации и минимизации негативных последствий процесса урбанизации требуется разработка мероприятий, направленных на регулирование данного процесса. Определив преимущества и недостатки урбанизации, можно сформулировать факторы определяющие и определяемые. Факторы, определяемые урбанизационным процессом, — это площадь территории, плотность населения. Факторы, определяющие урбанизационный процесс, — количество выбросов, уровень экономической базы территории, уровень заболеваемости населения [13—18].

Градообразующая база вместе со всем городом находится в постоянном развитии выступает побудителем происходящих процессов. По мере развития и роста численности как основного показателя роста города увеличивается его функциональность. Малые и средние города включают единичные функции, приоритет может отдаваться промышленности, транспорту, отдыху, лечению, туризму и т. п. При стимулировании развития города добавляются еще функции, которые могут быть взаимосвязаны. Многофункциональные города различаются по соотношению непроизводственной и производственной сферы. Развитие городов и увеличение их функциональности стимулиру-

ет развитие научной и технической баз, а также промышленности. Таким образом рост города — это увеличение его численности и функциональности.

Для характеристики процесса урбанизации [5] в общемировом масштабе Дж. Джиббс выделяет пять стадий урбанизации:

1. Относительно равномерное расселение.
2. Быстрый рост городов относительно сельских населенных мест и за счет сельского населения.
3. Формирование пригородных зон для размещения увеличивающегося населения, связанного с миграцией.
4. Развитие городских агломераций за счет поселения городских жителей в пригородной зоне.
5. Рост населения на внеагломерационных зонах, примыкающих к городским агломерациям.

На третьей стадии урбанизации находятся страны Восточной Европы, бывшего СССР. На второй стадии находится большинство развивающихся стран. Наиболее развитые США, Канада, Япония, Германия, Великобритания, Франция — на пятой стадии.

Исторически в урбанизационном процессе отмечено три этапа [19]:

Первые этап — 20—50 гг. XX в. Связан с ростом городского населения. За счет роста городов послереволюционной России сменились приоритеты развития и началась бурная индустриализация, стимулирующая развитие производства и необходимость строительства. Именно этот этап становится переломным, когда численность городского неселения превосходит сельское. Общее население возросло на 29 %, городское увеличилось примерно в 4 раза, а сельское население снизилось на 26 %.

Второй этап продолжался до 90-х гг. того же столетия. Послевоенные годы, связанные с необходимость восстановления производственной и градоформирующей, градообразующей базы. Это событие вызывает необходимость роста численности населения. Однако увеличение доли городского населения по сравнению с сельским в среднем происходит гораздо меньшими темпами, чем на предыдущем этапе процесса урбанизации. К 1990 г. по сравнению с 1959 г. население СССР увеличилось на 29 %, численность городского — на 78 %, а сельского снизилась на 31 %.

Третий этап урбанизации связан с очередным нелегким историческим событием, произошедшим в России. Нет роста числа городов, относительно нестабильна экономическая ситуация, внешние войны влияют на демографическую ситуацию в стране, в результате численность населения снижается за счет сокращения численности сельских жителей на 2 % (2015 г.)[1]. На рис. 1 представлен анализ численности городского и сельского населения России. Переломным моментом является 1939 г., после этого периода отмечен резкий рост городского населения, но после 1970 г. темпы роста городского населения незначительны. Показатель соотношения городского и сельского населения является одним из основных при оценке уровня развития страны. С 1917 г. по 1959 г. городское население возросло в 4 раза, с 1959 г. по 2015 г. — увеличилось на 77 %. Общая численность населения с 1917 г. за 42 года возросла на 29 % и с 1959 г. за 56 лет — на 25 %.

[1] Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/

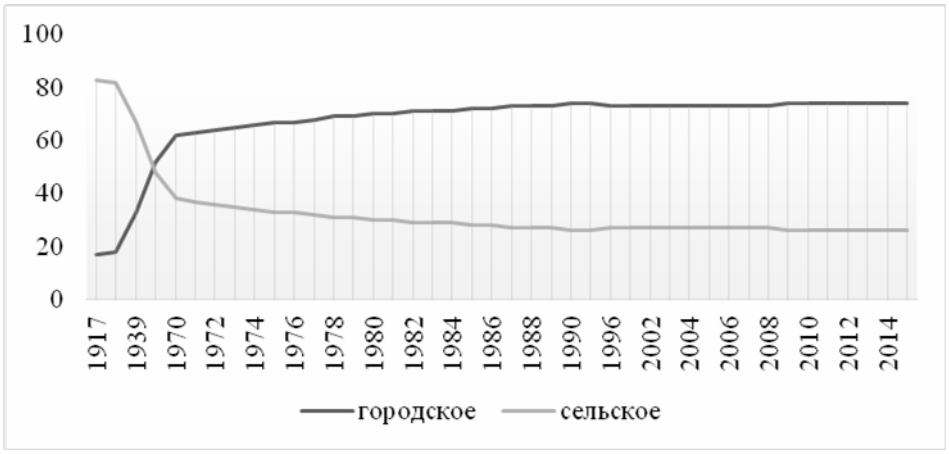


Рис. 1. Динамика городского и сельского населения России (по данным Федеральной службы государственной статистики)

Проведенный теоретический анализ позволил определить основные характеристики урбанизационного процесса: доля городского населения, площадь территории поселения и плотность поселения (возрастает по мере развития урбанизации), уровень доходности территории поселения (принимаем валовый региональный продукт), увеличение техногенной нагрузки на окружающую среду (рассматриваем количество выбросов от стационарных источников) и, как следствие увеличение, числа заболеваний населения.

Территория России составляет 17,1 млн км^2, из них 13 % приходится на сельскохозяйственные поселения. Население России 146 млн чел., из них 35 % — сельское. Почти 1/4 часть (22 %) всего населения России проживает на 0,06 % территории (в городах миллионниках) при плотности населения, превышающей среднероссийский показатель в 40 раз и увеличенной антропогенной нагрузке на окружающую среду. Плотность населения в этих городах значительно превышает среднероссийский, за исключением Красноярского края. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в этих городах и областях достигают 80 т в год на человека (Красноярский край). В Пермской, Челябинской и Свердловской областях выбросы превышают среднероссийский показатель (0,12 т в год на человека). Таким образом, Россия является высоко урбанизированной страной, где преобладает (более 70 %) городское население. Развитие сельского хозяйства необходимо как обеспечение одной из первичных функций (потребность в еде) населения страны. Россия обладает большой территорией, состоящей из 9 округов, 47 областей и 95 регионов, отличающихся по природно-географическим ресурсам, запасам природных ископаемых и многим другим факторам, определяющим развитие градостроительной базы. Исторически система расселения была сформирована в зависимости от размещения промышленности. В связи с этим процесс урбанизации происходит по-разному.

При анализе количества городских и сельских поселений с 2004 г. отмечена динамика роста городских поселений на 0,4 %. В целом по России количество городских поселений выросло с 1095 до 1099. Площадь территорий образования (округов) в течение анализируемого периода не изменялась. Из-

менения происходили за счет убытия или добавления внутри округа отдельных поселений к более крупным городам.

При рассмотрении соотношения городского и сельского населения по округам России (рис. 2) в текущем времени (на 1 января 2015 г.), установлено, что во всех округах (за исключением Северокавказского) преобладает городское население.

Рис. 2. Доля городского и сельского населения в федеральных округах России (по данным Федеральной службы государственной статистики 2015 г.): ДФО — Дальневосточный федеральный округ; СФО — Сибирский федеральный округ; УФО — Уральский федеральный округ; СЗФО — Северо-Западный федеральный округ; ПФО — Приволжский федеральный округ; ЦФО — Центральный федеральный округ; ЮФО — Южный федеральный округ; СКФО — Северо-Кавказский федеральный округ; КФО — Крымский федеральный округ

Для выявления факторов, определяющих урбанизационный процесс, был проведен анализ площади плотности и численности населения по Федеральным округам России. При соотношении площади и плотности населения наименьшая площадь и высокая плотность — в Крымском федеральном округе, следующий по плотности — Центральный федеральный округ, наименьшая плотность населения при наибольшей площади — в Дальневосточном федеральном округе. Результаты анализа площади федерального округа и доли городского населения графически представлены на рис. 3 (сопоставление со среднероссийским значением). Наибольшая доля городского населения — в Центральном федеральном и Северо-Западном федеральных округах, это объясняется наличием в них двух крупнейших городов России (по численности), в которых сосредоточены основные административные функции страны, — Москвы и Санкт-Петербурга. В этих же округах площадь ниже среднероссийского значения. Наибольшая площадь — в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Доля городского населения также превышает среднее значение (70 %) на 2 и 5 % соответственно. Максималь-

ная плотность населения — в Крымском федеральном округе (85,2 человека на км^2), наименьшая плотность населения — в Дальневосточном федеральном округе (1 человек на 1 км^2).

Рис. 3. Анализ площади численности населения по Федеральным округам России, по данным Федеральной службы государственной статистики 2015 г.

Как уже отмечалось, Россия достаточно большая страна с различными сырьевыми и природно-климатическими условиями. Проведенный анализ статистических данных показывает, насколько неравномерно протекает урбанизационный процесс по федеральным округам. Изменяется доля городского населения, плотность населения, определяемая площадью округа. Все эти характеристики влияют на показатели социально-экономического развития регионов и процесс урбанизации. Для выявления факторов, влияющих на урбанизационный процесс и основные характеристики, были выбраны города-миллионники.

В России на сегодня имеется 15 городов с населением свыше 1 млн чел. На долю этих городов приходится 50 % валового регионального продукта (по данным 2014 г.)[2]. Из-за отсутствия статистических данных величина ВРП принималась для области, в состав которых входят города (исключение составили г. Москва и Санкт-Петербург). Соответственно, далее результаты статистического анализа скорректированы (табл.) в соответствии с принимаемой территорией (область или город) (рис. 4).

[2] Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/

Города с численностью жителей более 1 млн чел. [20][3]

	Города	На 1 января 2015 года	На 1 января 2014 года	Субъект РФ, в состав которого входит город
1	Москва	12 197 596	12 108 257	г. Москва
2	Санкт-Петербург	5 191 690	5 131 942	г. Санкт-Петербург
3	Новосибирск	1 567 087	1 547 910	Новосибирская область
4	Екатеринбург	1 428 042	1 412 346	Свердловская область
5	Нижний Новгород	1 267 760	1 263 873	Нижегородская область
6	Казань	1 205 651	1 190 850	Республика Татарстан
7	Челябинск	1 183 387	1 169 432	Челябинская область
8	Омск	1 173 854	1 166 092	Омская область
9	Самара	1 171 820	1 172 348	Самарская область
10	Ростов-на-Дону	1 114 806	1 109 835	Ростовская область
11	Уфа	1 105 667	1 096 702	Республика Башкортостан
12	Красноярск	1 052 218	1 035 528	Красноярский край
13	Пермь	1 036 469	1 026 477	Пермский край
14	Воронеж	1 023 570	1 014 610	Воронежская область
15	Волгоград	1 017 451	1 017 985	Волгоградская область

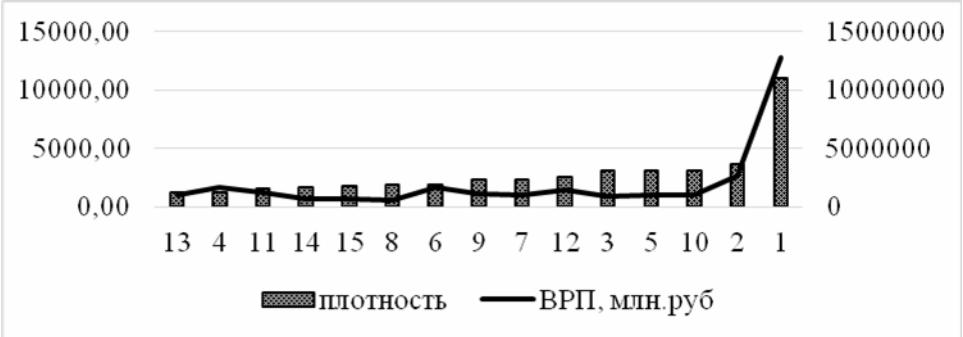


Рис. 4. График плотности населения и доли ВРП город с численностью жителей более 1 млн чел. (по данным 2014 г.): *1* — г. Москв; *2* — г. Санкт-Петербург; *3* — Новосибирская область; *4* — Свердловская область; *5* — Нижегородская область; *6* — республика Татарстан; *7* — Челябинская область; *8* — Омская область; *9* — Самарская область; *10* — Ростовская область; *11* — республика Башкортостан; *12* — Красноярский край; *13* — Пермская область; *14* — Воронежская область; *15* — Волгоградская область

Детальный анализ валового регионального продукта по городам России с численность населения более 1 млн чел. показал, что на территории Красноярского края и республики Татарстан, а также Москвы и Санкт-Петербурга значение ВРП, приходящегося на одного человека, превышает среднероссийский показатель (рис. 5).

Для указанных субъектов РФ, в которых располагаются города-миллионники, проведен анализ зависимости фактора ВРП и численности субъекта, плотности, площади территории. Наибольшая корреляция установлена между показателями валового регионального продукта и плотностью

[3] Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/

населения субъекта (0,97). Для этих двух показателей проведен более детальный статистический анализ, на основании которого установлено: с увеличение плотности на 1 чел. величина ВРП увеличивается на 1,008 руб.; коэффициент детерминации равен 0,95, значит, 95 % изменения ВРП объясняются изменением плотности населения; коэффициент корреляции равен 0,98, это значит, что связь между рассматриваемыми факторами тесная.

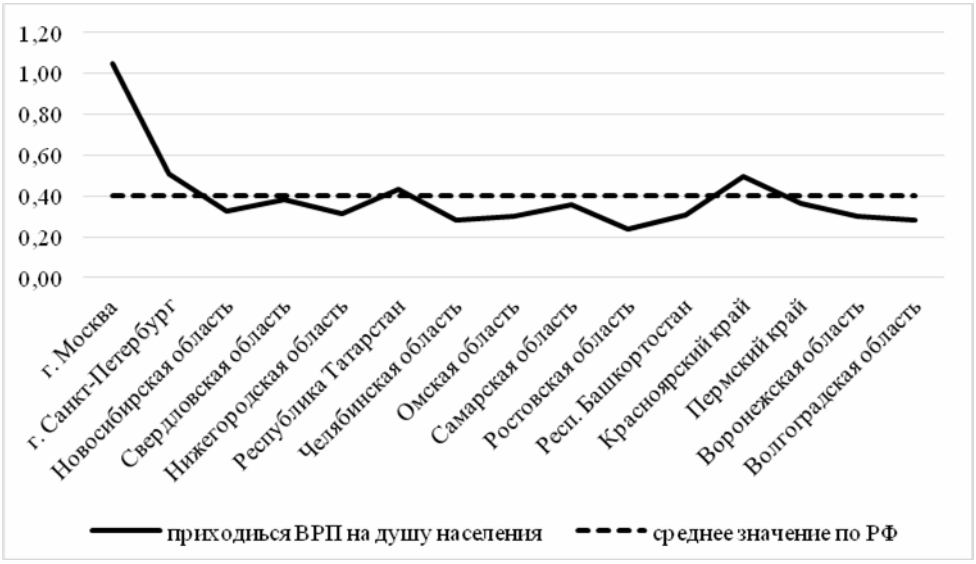


Рис. 5. Величина ВРП на душу населения по областям в числе которых есть города с численностью населения более 1 млн чел. (по данным 2014 г.)

При проведении аналогичного анализа между плотностью населения и уровнем ВРП по федеральным округам установлено, что уровень ВРП изменяется на 16 % при изменении плотности населения, остальные 84 % зависят от сторонних факторов, а 89,6 % ВРП изменятся при изменении доли городского населения. Таким образом, установлена четкая связь между уровнем городского населения и уровнем ВРП, с теснотой связи 94,6 %. При изменении доли городского населения на 1 % величина валового регионального продукта увеличится на 902 млн руб. Проведенный расчет коэффициента эластичности позволил установить, что при изменении доли городского населения на 1 % от своего среднего значения (9,14 % по федеральным округам) уровень ВРП изменится в среднем на 1,12 %.

Аналогично проведен анализ для всех территориальных областей России. Была изучена зависимость доли городского населения в общем количестве жителей России и величина ВРП, а также долей городских жителей территориальных образований и долей ВРП в объеме России. На представленной диаграмме (рис. 6) видна четкая зависимость динамики роста доли городских жителей и уровня (доли) валового регионального продукта. Динамика этих показателей совпадает. 88 % величины валового регионального продукта зависит от доли городских жителей в общей численности населения РФ. При увеличении доли городского населения в каком-либо поселении на 1 % величина ВРП увеличится на 1,48 %. Для проведения расчетов составлена выбор-

ка областей, где городское населения преобладает и доля его превышает 50 %. В соответствии с представленной классификацией такие территории считаются более урбанизированными. Для анализа были отобраны 71 область из различных федеральных округов.

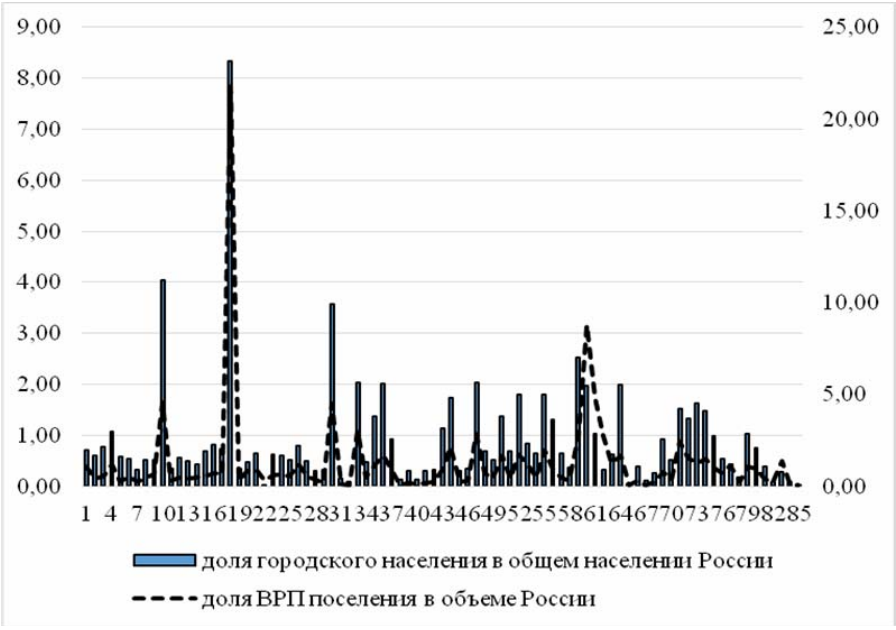


Рис. 6. Доля городского населения и доля ВРП по областям РФ (по данным 2014 г.)

Среднее количество отходов, приходящихся на одного жителя по России в 2014 г. — 35,97 тыс. т, в атмосферу в среднем на одного жителя поступает 0,12 тыс. т за тот же период. На графике (рис. 7) представлена динамика выбросов по областям России. Превышение среднероссийского значения выбросов в атмосферу установлено в следующих областях: Липецкой, Архангельской, Вологодской, Ленинградской, Мурманской, Оренбургской, Свердловской, Тюменской, Челябинской, Иркутской, Кемеровской, Томской, Амурской, Магаданской, Сахалинской; Республиках Карелия, Коми, Хакасия, Саха (Якутия) и Красноярском крае. Превышение среднероссийского показателя по количеству отходов в областях: Белгородская, Курская, Архангельская (номер 21), Мурманская (номер 25), Свердловская (51), Иркутская (60), Кемеровская (61), Магаданская (70); республиках Карелия (номер19), Бурятия, Хакасия (56), Саха (65); в Забайкальском, Красноярском (59) и Хабаровском краях (рис. 8).

При анализе уровня валового регионального продукта или его доли на территориях России с долей городского населения свыше 50 % установлена корреляционная связь между плотностью населения, количеством городских жителей и их долей. Наиболее тесная корреляционная связь — между уровнем ВРП и долей городского населения по России. На основании проведенного анализа установлено, что 82 % вариации ВРП объясняются изменением доли городских жителей в масштабах России. С изменением доли городских

жителей на 1 % величина ВРП изменится на 2,17 %. Плотность населения оказывается влияние на 61 % уровня ВРП. При увеличении плотности населения на 1 чел./км^2 уровень ВРП изменится на 0,3 % (рис. 9).

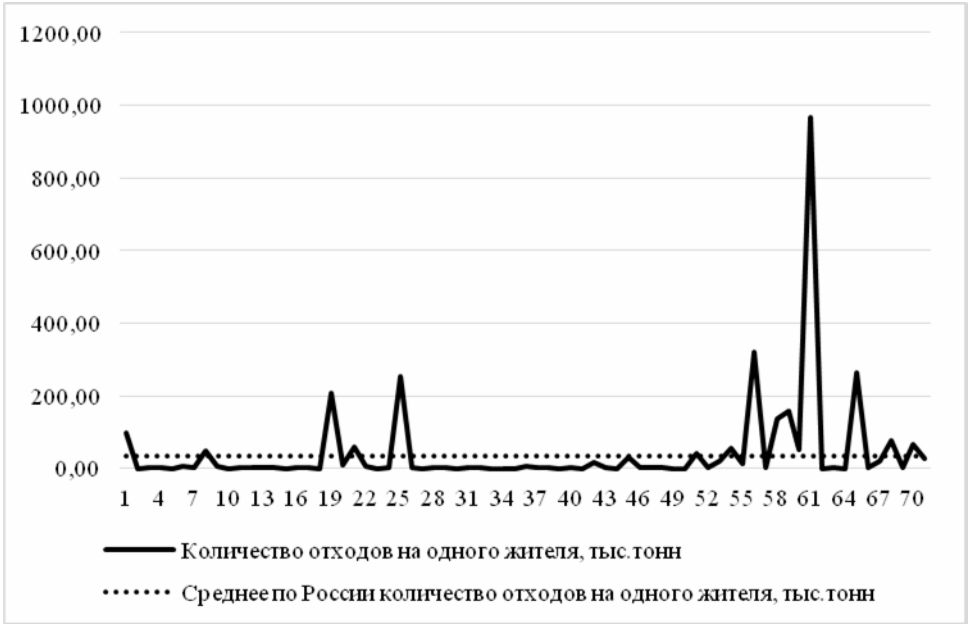


Рис. 7. Превышение количества отходов на одного жителя по урбанизированным территориям России (доля городского населения свыше 50 %) (по данным 2014 г.)

Рис. 8. Превышение среднероссийских выбросов по урбанизированным территориям России (урбанизация более 50 %) (по данным 2014 г.)

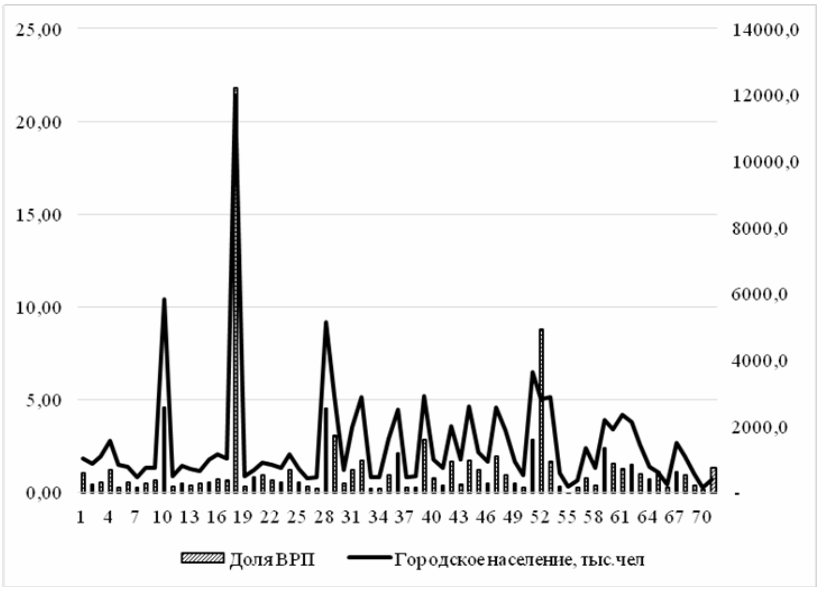


Рис. 9. Динамика доли ВРП и численности городского населения на урбанизированных территориях России (по данным 2014 г.)

Для дальнейшего анализа урбанизационного процесса, протекающего во времени, на примере Волгоградской области выбраны основные факторы, отмеченные ранее в работе. В частности, проведен анализ численности и доли городского населения, величины выбросов от стационарных источников, объемов загрязняющих веществ, поступающих в водоем, и экономического показателя, характеризующего экономическую базу региона, — валового регионального продукта. При анализе динамики уровня валового регионального продукта и численности городского населения по Волгоградской области отмечена зависимость между городским населением и ВРП. Рост населения в Волгоградской области отсутствует, его численность с 2006 г. по 2015 г. снизилась на 3 %. Доля городского населения в общем количестве практически неизменна (колебания — порядка 1 %) и составляет 75 % от общего числа жителей Волгоградской области (рис. 10).

При анализе экологических показателей (количество выбросов) и числа городских жителей можно отметить динамику зависимости. При снижении числа жителей количество выбросов снижается. В среднем с 2008 по 2014 г. на одного жителя Волгоградской области поступает 80 тыс. $м^3$ загрязняющих веществ в водоемы области, 90 т загрязняющих веществ — в атмосферу (рис. 11).

На основании статистического анализа установлена корреляционная зависимость между количеством выбросов загрязняющих веществ в водоемы региона и количеством городских жителей — 80 %. Изначально было составлено поле корреляции (рис. 12). Точки, характеризующие изучаемые показатели по количеству городских жителей и количеству загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу и водоемы, находятся практически на одной линии, поэтому для дальнейших расчетов принята линейная регрессионная зависимость.

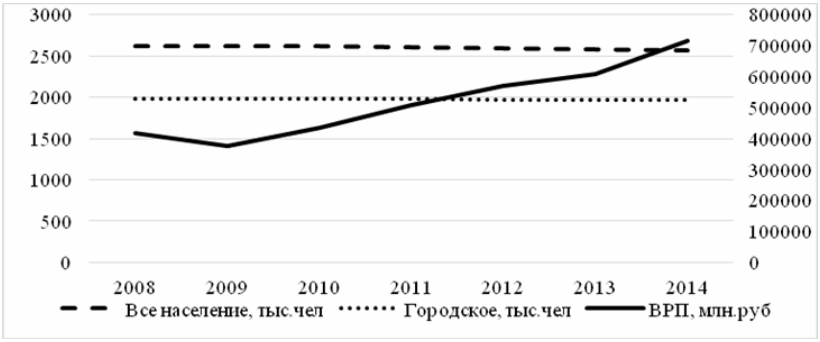


Рис. 10. Динамика численности населения и ВРП по Волгоградской области[4]

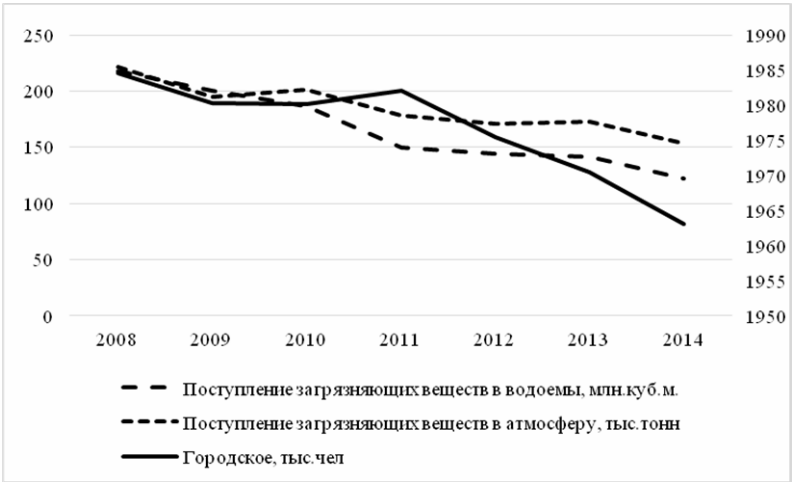


Рис. 11. Динамика объемов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу и водоемы Волгоградской области [21]

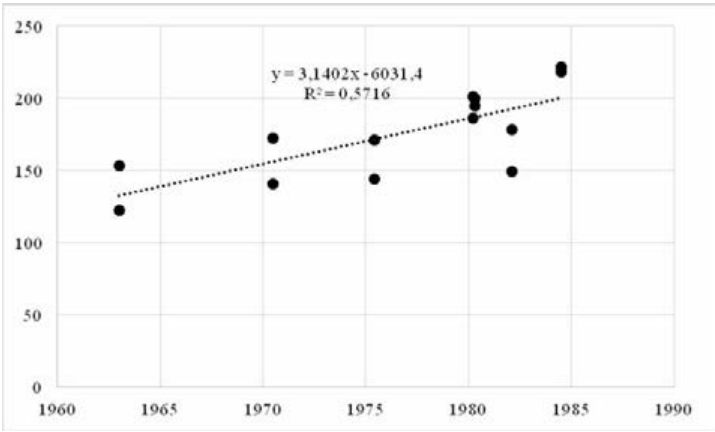


Рис. 12. Поле корреляции объемов загрязнения и городскими жителями Волгоградской области, по данным с 2008 по 2014 гг.: *x* — численность жителей; *y* — определяемое количество выбросов в атмосферу или сточный воды

[4] Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области URL: http://volgastat.gks.ru/

Рассчитанные статистические коэффициенты позволили сделать следующие выводы:

64 % количества выбросов загрязняющих веществ в водоемы региона объясняется вариацией числа городских жителей;

71 % вариации загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, объясняется вариацией числа городских жителей;

82,7 % вариации ВРП объясняется вариацией числа городских жителей;

при изменении численности городских жителей на 1 % от своего среднего значения (1976,6 чел.) значение количества выбросов поступающих в водоемы региона измениться в среднем на 44,74 %;

при изменении численности городских жителей на 1 % от своего среднего значения (1976,6 чел.) значение количества выбросов поступающих в атмосферу региона измениться в среднем на 27 %;

при изменении численности городских жителей на 1 % от своего среднего значения (1976,6 чел.) значение величина валового регионального продукта измениться в среднем на 55 %.

Проведенный статистический анализ позволил установить факторы, влияющие на процесс урбанизации в целом по стране и непосредственно в Волгоградской области. Определенные зависимости между долей городских жителей как основного показателя урбанизации и факторами, формируемыми как результат процесса урбанизации, позволят регулировать данный процесс. Составленный прогноз изменения неблагоприятных факторов, таких как загрязнение окружающей среды, при увеличении городских жителей позволит своевременно разработать необходимые мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Еще один фактор, отражающий негативное влияние урбанизации — это воздействие на организм человека различных факторов, вызванных действиями самого человека. Ученые связывают увеличение заболеваний населения с различными формами загрязнения, происходящим по разным направлениям. Загрязнение атмосферного воздуха проявляется прежде всего в развитии инфекционных заболеваний. «Респираторные заболевания у детей, проживающих в загрязненных районах, длится в 2...2,5 раза дольше, чем у детей, проживающих на относительно чистых территориях. У детей, проживающих в районах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, отмечается низкий уровень физического развития» [20].

Академиком В. Д. Суржиковым [21] было установлено, что с возрастом меняется порог восприятия антропогенной нагрузки. «Наименее чувствительной является группа населения в возрасте 20...39 лет, а наиболее чувствительными — группа детей от 3 до 6 лет (в 2,3 раза) и возрастная группа взрослого населения старше 60 лет (в 1,6 раза)». «В городах Челябинской области, где более 80 % выбросов обусловлено предприятиями черной и цветной металлургии, отмечается повышенный уровень заболеваемости детей и взрослых болезнями эндокринной системы, крови, органов дыхания, а также наблюдаются врожденные аномалии у детей и взрослых, осложнения беременности и родов, болезни кожи и злокачественные новообразования». «В сельской местности Ростовской области в районах с высокими пестицидными нагрузками (до 20 кг/га) у детей увеличилась распространенность бо-

лезней органов кровообращения на 113 %, бронхиальной астмы — на 95 % и врожденные аномалии — на 55 %».

Зарубежный опыт и проведенные теоретические исследования подтверждают факт необходимости проведения комплекса мер по регулированию процесса урбанизации. Каждый из видов населенных пунктов имеет право на существование, а следовательно, для развития урбанизации и получения определенного статуса города нельзя просто присоединять населенные пункты по территориальной принадлежности. Необходимо использовать административные, экономические и социальные стимулы для привлечения в эти поселения населения и развития этих территорий за счет прибывающего населения. Рост городов должен быть ограничен в определенной степени, так как превышающаяся плотность населения и увеличивающееся антропогенное воздействие на окружающую среду сказываются на психологическом и физиологическом состоянии людей. Проведенный статистический анализ позволил установить, что при увеличении плотности населения уровень ВРП увеличится. Значит, возможно увеличивать плотность населения на территориях, где она ниже среднероссийского показателя, избегая тем самым негативного воздействия на окружающую среду при увеличении плотности на территориях с уже высокой плотностью. На рис. 13 представлена диаграмма, на которой видно, что население России с 2001 г. по 2014 г. уменьшается на 2 %, а численность заболевших различными заболеваниями повышается (с 2001 г. по 2014 г. — на 10 %).

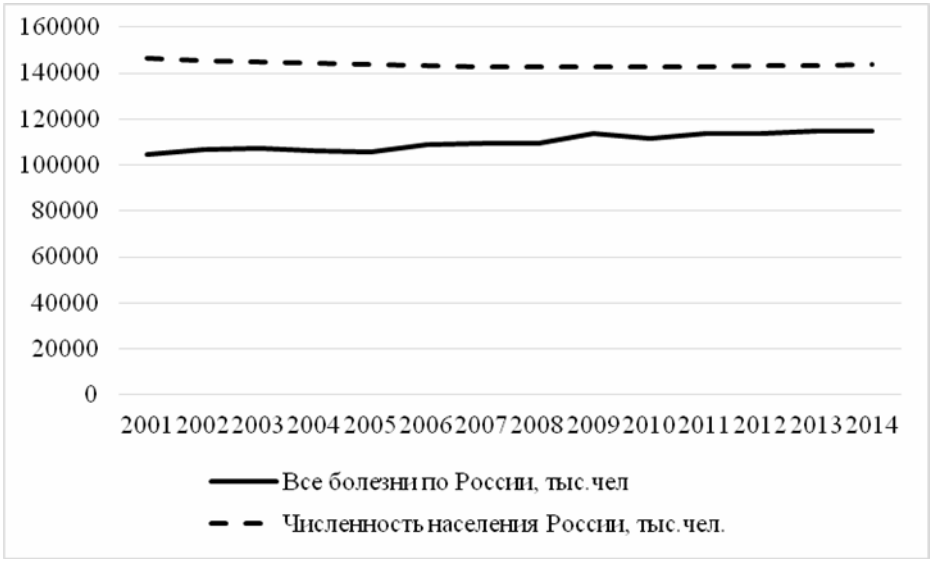


Рис. 13. Динамика численности населения России, численность заболевших различными заболеваниями

Для Волгоградской области проведен анализ количества выбросов в атмосферу и водоемы, численности населения и количества заболеваний (рис. 14). Уровень выбросов в атмосферу снизился на 30 %, в водоемы — на 43 % (2014 г. по отношению к 2008 г.). Население региона за этот период снизилось на 2 %, заболеваемость — на 5 %.

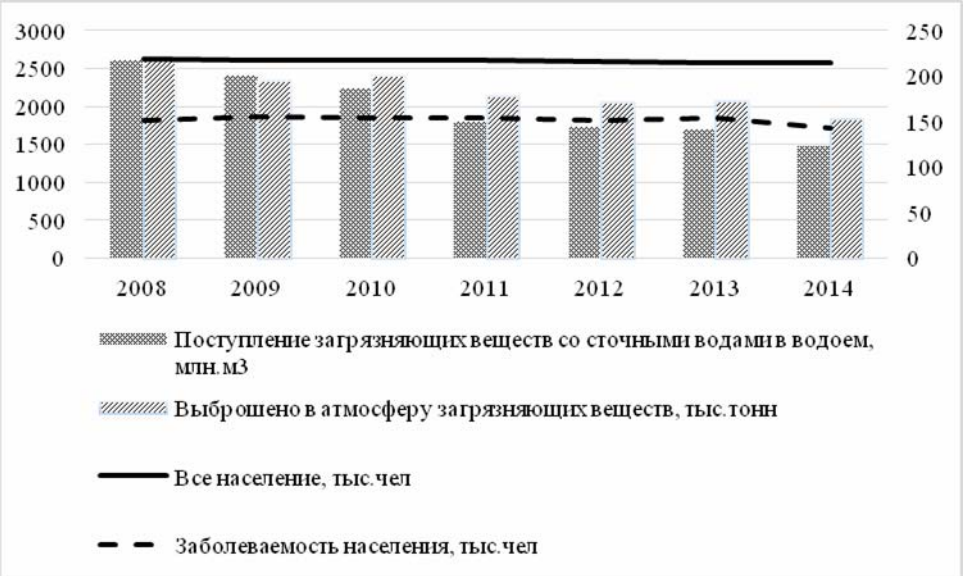


Рис. 14. Динамика количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водоемы Волгоградской области, численности населения и количества заболевших [21]

Установлена корреляционная зависимость между количеством жителей и количеством заболеваний (68 %).

Для точной оценки урбанизации необходим комплексный анализ уровня жизни в регионе и на территории поселения, то есть развитие инфраструктуры, социальной сферы, услуг, повышение уровня охраны окружающей среды, количества поступающих вредных веществ, которое улавливается и обезвреживается, то есть тех показателей, которые должны присутствовать в развитом урбанизированном обществе по современным требованиям.

Проведенный теоретический и статистический анализ данных позволил установить четкие зависимости между изменением доли городских жителей и уровнем выбросов в окружающую среду загрязняющих веществ, уровнем валового регионального продукта как индикатора экономической деятельности территории поселения. Процесс урбанизации должен предполагать не только рост города, так как рост имеет предельные точки, после которых он становится губительным для системы. А город — это система. Процесс урбанизации должен включать развитие города, его территории, промышленности и других сфер жизнедеятельности людей. Тогда этот процесс будет содержать больше преимуществ, нежели недостатков, по крайней мере будет возможно снизить влияние нагрузки на градостроительную среду путем регулирования процесса урбанизации, планируя развитие различных населенных пунктов большой страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лаппо Г.* Урбанизация в Европейской России — процессы и результаты // Город и деревня в Европейской России: сто лет перемен. М., 2001. С. 124—132.

2. *Ром В. Я., Дронов В. П.* География России: Население и хозяйство: учебник для общеобразовательных учеб. заведений. 2-е изд. М.: Дрофа, 1996. 400 с.

3. Урбанизация в России в XVIII — начале XX вв.: сб. науч. ст. / под ред. В. В. Канищева, Ю. А. Мизиса. Тамбов, 2008. 307 с.

4. *Петренко А. Д.* Урбанизация в России: формы городского пространства // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета. 2014. № 11. С. 139—142.

5. *Симагин Ю. А.* Территориальная организация населения: учебное пособие / под общ. ред. В. Г. Глушковой. М.: Дашков и К°, 2004. 244 с.

6. *Соловьев Е. В.* Урбанизация и этногенез // Марийский юридический вестник. 2012. № 9. С. 74—82.

7. Урбанизация и строительство городов в Китае / Р. С. Федюк, А. В. Мочалов, Ю. Ю. Ильинский, Ю. Г. Евдокимова // Россия и Китай: проблемы стратегического взаимодействия: Сборник Восточного центра. 2013. № 13. С. 45—54.

8. *Лаппо Г. М.* Урбанизация в России // Экология урбанизированных территорий. М.: ООО Издательский дом «Камертон». 2006. № 1. С. 6—12.

9. *Алексашина В. В.* Урбанизация и ее влияние на биосферу // Строительство и реконструкция. 2009. № 5(25). С. 4—8.

10. *Забазнова Т. А.* Урбанизация. Среда жизни и отходы // Социально-экономические и технологические проблемы развития строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства региона. Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. С. 89—94.

11. *Осипов В. И.* Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 4. С. 291—302.

12. *Осипов В. И.* Урбанизация и природные опасности. Задачи, которые необходимо решать // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2007. № 1. С. 3—9.

13. *Багомедова М. А.* Урбанизация и социальный аспект экологической безопасности // Современные тенденции регионального развития: баланс экономики и экологии. ИСЭИ ДНЦ РАН, 2014. С. 123—134.

14. *Алексеев А. Н., Дубина Е. В.* Техногенное загрязнение, урбанизация и рост риска заболеваний трансмиссивными инфекциями // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2009. № 2(26). С. 184—191.

15. *Москаленко В. Ф., Грузева Т. С.* Урбанизация как глобальная проблема общественного здоровья // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2010. Т. 5. № 1. С. 32.

16. Урбанизация и экология: межвуз. сб. науч. тр. СПб.: Образование, 1990. 140 с.

17. *Поздняков А. Л., Самохвалов А. М.* Урбанизация и ее влияние на экологию городов и поселений // Известия Юго-западного государственного университета. 2014. № 6(57). С. 74—78.

18. *Табакаев М. В., Артамонова Г. В.* Урбанизация и сердечно-сосудистые заболевания в современном обществе // Российский кардиологический журнал. 2015. № 6 (122). С. 94—99.

19. *Константинов О. А.* Типы урбанизации в СССР // Известия АН СССР. Сер. Географическая. 1976. № 5.

20. Выступление участника общего собрания председателя комитета по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии Совета Федерации РФ В. Е. Шудегова // Вестник Российской академии наук. 2005. Т. 75. № 10. С. 900—901.

21. *Суржиков В. Д.* Гигиенические основы оценки риска нарушения здоровья различных групп населения под влияние атмосферных загрязнений: автореф. дис.... д-ра мед. наук. М., 1994. 42 с.

© Растяпина О. А., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Растяпина О. А. Влияние урбанизации на благополучие городского поселения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 168—187.

Об авторе:

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

O. A. Rastyapina

THE IMPACT OF URBANIZATION ON THE WELL-BEING OF URBAN SETTLEMENT

The article identifies the advantages and disadvantages of urbanization processes. The analysis of statistical data on the main factors that characterize the process of urbanization is provided. The author reveals the dependence between the increase in the urban population and the change in the level of gross regional product, the amount of emissions released into the air of the city, the amount of pollutants released into water bodies and the level of morbidity. Statistical analysis was carried out on the basis of the data of the regions of the RF, as well as Volgograd Oblast.

K e y w o r d s: urbanization, urbanization process, level of pollutant emissions, urbanization effects on health, impact of the number of urban residents on the level of gross regional product, impact of the number of urban residents on the amount of pollutant emissions.

REFERENSES

1. Lappo G. [Urbanization in European Russia — processes and results]. *Gorod i derevnya v Evropeiskoi Rossii: sto let peremen* [City and village in European Russia: a hundred years of changes]. Moscow, 2001. Pp. 124—132.

2. Rom V. Ya., Dronov V. P. *Geografiya Rossii: Naselenie i khozyaistvo: uchebnik dlya obshcheobrazovatel'nykh ucheb. zavedenii. 2-e izd.* [Geography of Russia: Population and economy: manual for students of general education institutions. 2nd ed.]. Moscow, Drofa Publ., 1996. 400 p.

3. Kanishchev V. V., Mizis Yu. A., ed. *Urbanizatsiya v Rossii v XVIII — nachale XX vv.: sb. nauch. st.* [Urbanization in Russia in XVIII — the beginning of XX centuries. Set of scientific papers]. Tambov, 2008. 307 p.

4. Petrenko A. D. [Urbanization in Russia: forms of urban space]. *Trudy molodykh uchenykh Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta* [Works of young scientists of Altai State University], 2014, no. 11, pp. 139—142.

5. Simagin Yu. A. *Territorial'naya organizatsiya naseleniya: uchebnoe posobie* [Territorial organization of the population: manual]. Moscow, Dashkov i K°, 2004. 244 p.

6. Solov'ev E. V. [Urbanization and ethnogenesis]. *Mariiskii yuridicheskii vestnik* [Mari Juridical Herald], 2012, no. 9, pp. 74—82.

7. Fedyuk R. S., Mochalov A. V., Il'inskii Yu. Yu., Evdokimova Yu. G. [Urbanization and city developments in China]. *Rossiya i Kitai: problemy strategicheskogo vzaimodeistviya: Sbornik Vostochnogo tsentra* [Russia and China: problems of strategic cooperation. Collection of East center]. 2013, no. 13, pp. 45—54.

8. Lappo G. M. [Urbanization in Russia]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii* [Ecology of the urbanized territories]. Moscow, LLC "Kamerton" Publishing House, 2006, no. 1, pp. 6—12.

9. Aleksashina V. V. [Urbanization and its impact on biosphere]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction], 2009, no. 5(25), pp. 4—8.

10. Zabaznova T. A. [Urbanization. Living environment and wastes]. *Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnologicheskie problemy razvitiya stroitel'nogo kompleksa i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva regiona* [Social, economic and technological problems of the development of the construction complex and housing and public services in the region]. Volgograd, VSUACE Publ., 2006, pp. 89—94.

11. Osipov V. I. [Natural disasters at the turn of XXI century]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], 2001, 71(4), pp. 291—302.

12. Osipov V. I. [Urbanization and natural dangers. Problems that need to be solved]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology, Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology], 2007, no. 1, pp. 3—9.

13. Bagomedova M. A. [Urbanization and the social aspect of environmental safety]. *Sovremennye tendentsii regional'nogo razvitiya: balans ekonomiki i ekologii* [Current trends of the regional development: balance of economy and ecology]. ISER DSC of the RAS, 2014, pp. 123—134.

14. Alekseev A. N., Dubina E.V. [Technogenic pollution, urbanization and increase of exposure of arthropod-borne infection diseases]. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Herald of the Russian Military Medical Academy], 2009, no. 2(26), pp. 184—191.

15. Moskalenko V. F., Gruzeva T. S. [Urbanization as a global problem of public health]. *Zdorov'e — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya* [Health — basis of human potential: problems and ways of their solution], 2010, 5(1), p. 32.

16. *Urbanizatsiya i ekologiya: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Urbanization and ecology. Inter-university set of scientific papers]. Saint Petersburg, Obrazovanie Publ., 1990. 140 p.

17. Pozdnyakov A. L., Samokhvalov A. M. [Ecological aspects of urbanization of cities and settlements]. *Izvestiya Yugo-zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the South-West State University], 2014, no. 6(57), pp. 74—78.

18. Tabakaev M. V., Artamonova G. V. [Urbanization and cardiovascular diseases in modern society]. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal* [Russian journal of cardiology], 2015, no. 6 (122), pp. 94—99.

19. Konstantinov O. A. [Types of urbanization in the USSR]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geograficheskaya* [News of the Academy of Sciences of the USSR. Geographical series], 1976, no. 5.

20. [Speech of the participant of the general assembly of the chairman of the committee on science, culture, education, health care and ecology of the Federation Council of the Russian Federation V. E. Shudegov]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], 2005, 75(10), pp. 900—901.

21. Surzhikov V. D. *Gigienicheskie osnovy otsenki riska narusheniya zdorov'ya razlichnykh grupp naseleniya pod vliyanie atmosfernykh zagryaznenii: avtoref. dis... d-ra med. nauk* [Hygienic principles of risk assessment of health situation of various population groups under the influence of atmospheric pollution. Dis. Dr. Med. Sc.]. Moscow, 1994. 42 p.

For citation:

Rastyapina O. A. [The impact of urbanization on the well-being of urban settlement]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 168—187.

About author:

Rastyapina Oksana Anatol'evna — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 625.7/.8-047.72

Д. А. Скоробогатченко

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ АВТОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассматриваются вопросы применения нечетких нейронных сетей для решения широкого класса задач, связанных с прогнозированием в сложных системах автодорожного комплекса. Предлагаемая концепция учитывает специфику процессов, протекающих в автодорожном комплексе. В качестве примеров использования нечетких нейронных сетей в автодорожном комплексе представлены результаты прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий, управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог и оптимизации размещения асфальтобетонных заводов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: нечеткие нейронные сети, прогнозирование изменения состояния сложных объектов, автодорожный комплекс.

Введение. Установлено, что автодорожный комплекс является своего рода локомотивом экономики страны, создавая внетранспортные социально-экономические эффекты, которые многократно превышают первоначальные инвестиции и способствуют увеличению ВВП [1, 2]. Одним из существенных препятствий на пути эффективного развития российского автодорожного комплекса является неудовлетворительное состояние технологий управления сложными объектами и процессами, протекающими в отрасли [3]. Такие значимые задачи автодорожного комплекса, как диагностика и планирование транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и мостов, поддержка принятия решений при распределении дорожных фондов, координирование средств организации дорожного движения в целях снижения аварийности, оптимизация размещения производственной базы для обеспечения материальных потребностей городского хозяйства и многие другие, требуют комплексного управленческого подхода с учетом специфики дорожной отрасли.

Поскольку известно, что ключевым элементом при построении любой системы управления и принятия решений является прогнозирование, то можно с уверенностью констатировать, что в настоящее время проблема разработки систем прогнозирования изменения состояния сложных объектов автодорожного комплекса является особенно актуальной.

Выбор методики прогнозирования. На сегодняшний день известно достаточно большое количество различных методик прогнозирования изменения состояния сложных объектов в автодорожном комплексе. Однако подавляющая часть алгоритмов, лежащих в основе данных методик, базируется на моделировании эмпирических зависимостей с преимущественным использованием аппарата математической статистики. Сложность практического использования большинства моделей данного направления заключается в необходимости значительных экспериментальных исследований по определению параметров уравнений применительно к специфике тех или иных дорожных условий. К тому же большинство известных математических моделей прогнозируют изменение состояния сложных объектов автодорожного

комплекса, используя детерминированный и достаточно ограниченный набор внутренних переменных.

В то же время существенной особенностью функционирования подавляющего большинства сложных объектов (процессов) автодорожного комплекса является наличие множества переменных, структурируемых лицом, принимающим решения, неполнота исходных количественных данных, необходимость учета факторов внешней среды, наличие многокритериальных целевых установок, а также большой объем входной информации, представленной в виде мнений и оценок экспертов [4].

Все эти факторы существенно ограничивает применимость традиционных количественных моделей, открывая простор для применения нечеткой логики. Сегодня на основе теории нечетких множеств решается широкий класс отраслевых задач — от оценки технического состояния дорог и мостов до вопросов, связанных с безопасностью водителя [5, 6, 7].

Общий принцип систем прогнозирования изменения состояния сложных объектов автодорожного комплекса, основанных на нечетком выводе, в соответствии с [8] включает в себя выполнение следующих этапов (рис. 1): формирование базы правил систем нечеткого вывода, фаззификация входных переменных, агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций, активизация подзаключений в нечетких правилах, а также аккумуляция заключений нечетких правил продукций и дефаззификация выходных переменных.

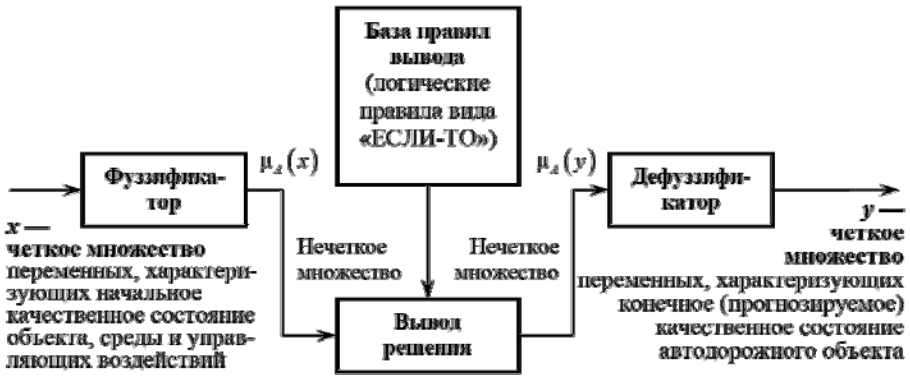


Рис. 1. Структура нечеткой системы по прогнозированию состояния сложного объекта автодорожного комплекса

В случае *N*-переменных правила вывода имеют в общем случае следующий вид:

Если x_1 это A_1 и x_2 это A_2 и …. и x_N это A_N, то y это B,

где A и B — это лингвистические значения, идентифицированные нечетким способом через соответствующие функции принадлежности. Переменные x_1, x_2,… x_N образуют N-мерный входной вектор **x**, составляющий аргумент условия, в котором A_1, A_2, …, A_N и B обозначают величины соответствующей функции принадлежности $\mu_A(x_i)$ ($i = 1…N$) и $\mu_B(y)$, определяемой в данном случае функцией Гаусса:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^{2b}}, \quad (1)$$

где c, σ, b — параметры функции Гаусса, определяющие ее центр, ширину и форму соответственно.

Если учесть, что имеется M-правил (и M-функций принадлежности), то формируется матрица значений функций принадлежности размера $N \times M$:

1: Если $x_1^{(1)}$ это $A_1^{(1)}$ и $x_2^{(1)}$ это $A_2^{(1)}$ и …. и $x_N^{(1)}$ это $A_N^{(1)}$, то $y^{(1)}$ это $B^{(1)}$,

2: Если $x_1^{(2)}$ это $A_1^{(2)}$ и $x_2^{(2)}$ это $A_2^{(2)}$ и …. и $x_N^{(2)}$ это $A_N^{(2)}$, то $y^{(2)}$ это $B^{(2)}$,

……

M: Если $x_1^{(M)}$ это $A_1^{(M)}$ и $x_2^{(M)}$ это $A_2^{(M)}$ и …. и $x_N^{(M)}$ это $A_N^{(M)}$, то $y^{(M)}$ это $B^{(M)}$.

Дальнейшее функционирование нечеткой системы и прогнозирование изменения состояния сложного объекта в автодорожном комплексе представим в виде последовательности этапов (рис. 2).

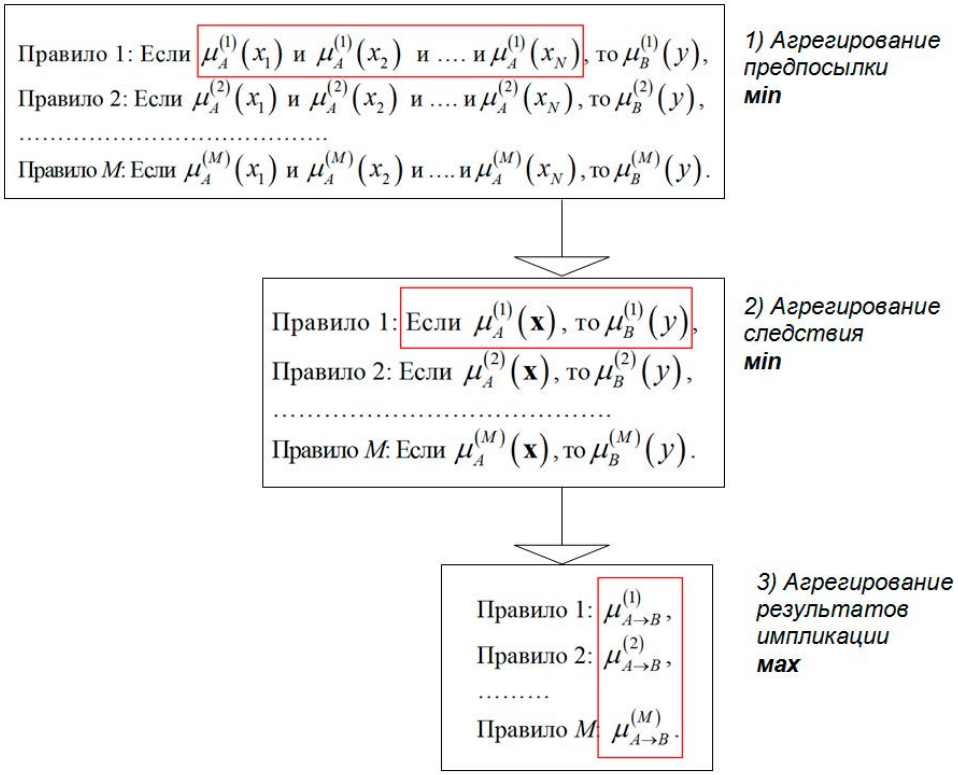


Рис. 2. Схема нечеткого логического вывода, используемая для прогнозирования изменения состояния сложного объекта в автодорожном комплексе

1 этап: агрегирование предпосылки. Поступающее значение функции принадлежности $\mu_A(\mathbf{x})$, где $\mathbf{x}$ — N-мерный вектор, агрегируется в виде алгебраического произведения:

$$\mu_A(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^{N} \mu_A(x_i). \quad (2)$$

2 этап: агрегирование следствия. Каждой импликации приписывается единственное значение функции принадлежности $\mu_{A\to B}$ (**x**, *y*). Данная операция также осуществляется с использованием операции алгебраического произведения:

$$\mu_{A\to B} = \mu_A(x) \times \mu_B(y). \quad (3)$$

3 этап: агрегирование результатов. На данном этапе применяется оператор суммы для агрегирования результатов импликации многих правил.

4 этап: процедура дефуззификации относительно центра, которая в дискретной форме может быть записана как:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^{M} y^{(k)} \left[\prod_{i=1}^{N} \mu_A^{(k)}(x_i) \right]}{\sum_{k=1}^{M} \left[\prod_{i=1}^{N} \mu_A^{(k)}(x_i) \right]}. \quad (4)$$

Функционирование метода, основанного на нечетком выводе, представим на примере прогнозирования изменения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги (ТЭС АД), реализованного в [9]. Для облегчения восприятия ограничимся всего двумя правилами и тремя значениями функций принадлежности (рис. 3):

Правило 1:

Начальное ЭС АД = «ниже удовл» $\wedge$ Управляющее воздействие = «выше высок» $\Rightarrow$ Конечное ЭС АД = «удовл».

Правило 2:

Начальное ЭС АД = «удовл» $\wedge$ Управляющее воздействие = «высок» $\Rightarrow$ Конечное ЭС АД = «ниже хор».

Правило 3:

Начальное ЭС АД = «выше удовл» $\wedge$ Управляющее воздействие = «выше высок» $\Rightarrow$ Конечное ЭС АД = «хор».

Безусловным достоинством применяемого метода является возможность использовать значительное количество переменных, объединяя их в деревьях параметров, а также учет качественной информации, которая весьма значительна при описании процессов в отрасли. Однако методика имеет и свои слабые места. В частности, в качестве основного недостатка систем прогнозирования, основанных на нечеткой логике, следует отметить субъективизм построения формы функций принадлежности и сетки правил, а также высокую робастность системы, устранять которую приходится корректировкой параметров функций принадлежности и правил. Устранить указанные недостатки можно, создавая нечеткие адаптивные системы, которые благодаря синтезу статистического материала с параметрами нечеткого вывода позволят устранить субъективизм и детерминированность, присущие методу. В качестве инструмента повышения адаптивности метода целесообразно использовать аппарат нечетких нейронных сетей (ННС), позволяющих решать многочисленные задачи автодорожного комплекса [10, 11].

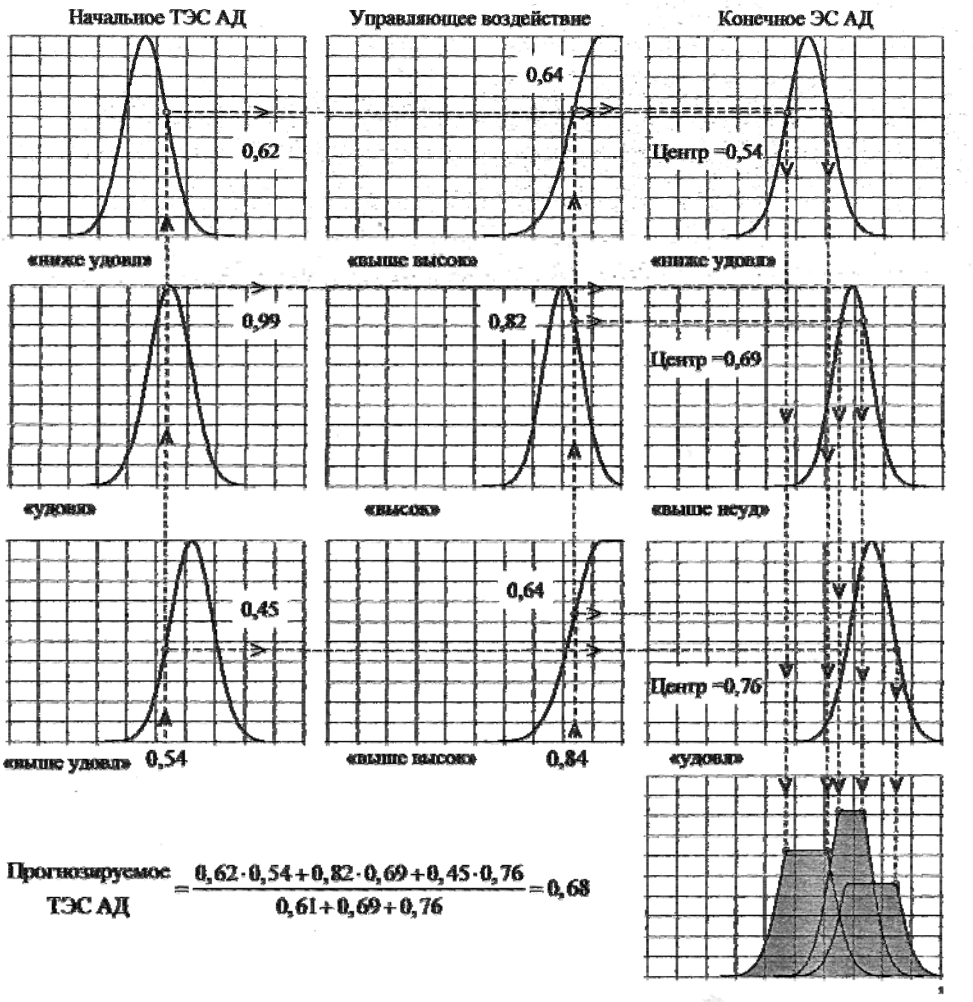


Рис. 3. Прогнозирование ТЭС АД на основе нечеткого вывода

Модель прогнозирования изменения состояния сложного объекта автодорожного комплекса. Искусственная ННС представляет собой параллельную вычислительную систему, состоящую из большого количества элементарных единиц обработки информации — нейронов, накапливающих экспериментальные знания и предоставляющих их для последующей обработки. Под термином «обучение» понимается способность ННС повышать точность прогноза за счет корректировки формы функций принадлежности и вида нечетких правил на основе статистических данных.

На первом слое ННС (рис. 4) осуществляется фуззификация:

$$\mu_A^{(k)}(x_i) = \frac{1}{1+\left(\frac{x_i - c_j^{(k)}}{\sigma_j^{(k)}}\right)^{2b_j^{(k)}}}, \qquad (5)$$

где k — количество функций принадлежности ($k = 1…M$); j — количество переменных ($j = 1…N$); $c_j^{(k)}$, $\sigma_j^{(k)}$, $b_j^{(k)}$ — параметры, определяющие соответственно центр, ширину и форму k-й функции принадлежности j-й переменной.

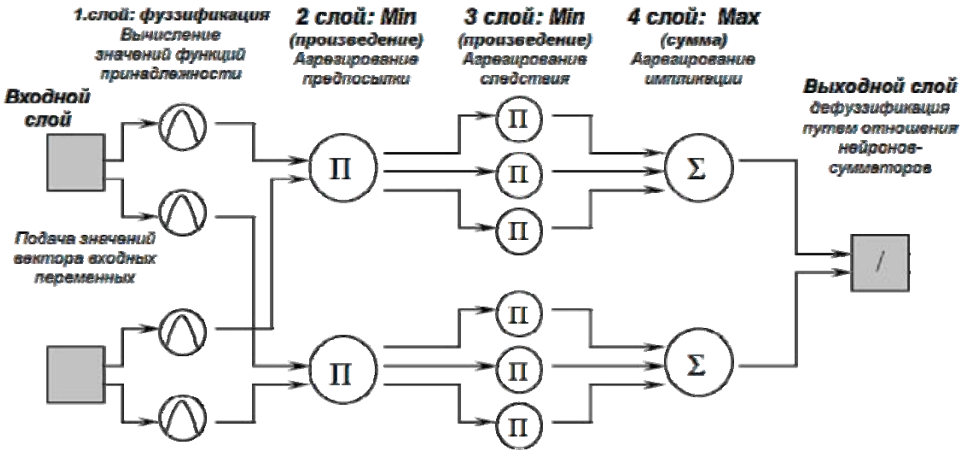


Рис. 4. Общая схема структуры ННС по прогнозированию состояния сложного объекта в автодорожном комплексе

Во втором слое выполняется агрегирование значений переменных x_i в соответствии с формулой

$$w_k = \prod_{j=1}^{N} \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i - c_j^{(k)}}{\sigma_j^{(k)}} \right)^{2b_j^{(k)}}}. \quad (6)$$

Вычисленные таким образом параметры w_k ($k = 1…M$) одновременно подаются дальше в 3-й слой (для перемножения на веса) и в четвертый слой для вычисления их суммы в нейроне f_2.

Третий слой вычисляет центры для k-правил по формуле:

$$y_k = p_{k0}, \quad (7)$$

где p_{k0} можно рассматривать как центр функции принадлежности c_k.

После этого осуществляется агрегирование следствия с использованием операции алгебраического произведения: $w_k \times y_k(\mathbf{x})$.

Четвертый слой представлен двумя нейронами f_1 и f_2, выполняющими агрегирование результатов:

$$f_1 = \sum_{k=1}^{M} w_k \times y_k(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{M} \left[\left(\prod_{j=1}^{N} \mu_A^{(k)}(x_j) \right) \times c_k \right]; \quad (8)$$

$$f_2 = \sum_{k=1}^{M} w_k = \sum_{k=1}^{M} \left[\prod_{j=1}^{N} \mu_A^{(k)}\left(x_j\right) \right]. \quad (9)$$

Пятый слой представлен одним-единственным нейроном, выполняющим дефуззификацию:

$$y(x) = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\sum_{k=1}^{M} w_k \times y_k(\mathbf{x})}{\sum_{k=1}^{M} w_k} = \frac{\sum_{k=1}^{M} \left[\left(\prod_{j=1}^{N} \mu_A^{(k)}\left(x_j\right) \right) \times c_k \right]}{\sum_{k=1}^{M} \left[\prod_{j=1}^{N} \mu_A^{(k)}\left(x_j\right) \right]}. \quad (10)$$

Детальная схема ННС, используемой для решения вопросов, связанных с прогнозированием изменения состояния сложного объекта в автодорожном комплексе, представлена на рис. 5.

Алгоритм обучения ННС условно можно разделить на два этапа.

На первом этапе обучению подлежат параметры центра выходных функций принадлежности в третьем слое. Для этого при фиксации параметров функций принадлежности первого слоя определяют параметры весов исходя из:

$$\mathbf{y}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{M} w_k' p_{k0}. \quad (11)$$

Следует отметить, что выходные сигналы **y** ННС заменяют эталонными сигналами **d** из p обучающих выборок (обучающих примеров $\mathbf{x}^{(l)}, \mathbf{d}^{(l)}$) где $l = 1 \ldots p$. Тогда:

$$\mathbf{wp} = \mathbf{d}, \quad (12)$$

где **w** — упрощенная в результате замены полинома матрица **A**.

Дальше решение системы уравнений осуществляют на основе псевдоинверсии матриц.

На втором этапе после фиксации значений линейных параметров $y_k = p_{k0}$ рассчитываются фактические выходы ННС $y(i)$ для $i = 1 \ldots p$ и вектор ошибки $\varepsilon = \mathbf{y} - \mathbf{d}$. Далее, применяя метод наискорейшего спуска, используются формулы для корректировки параметров функций принадлежности:

$$c_j^{(k)}(n+1) = c_j^{(k)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial c_j^{(k)}}; \quad (13)$$

$$\sigma_j^{(k)}(n+1) = \sigma_j^{(k)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial \sigma_j^{(k)}}; \quad (14)$$

$$b_j^{(k)}(n+1) = b_j^{(k)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial b_j^{(k)}}, \quad (15)$$

где n — номер итерации; η — параметр скорости обучения.

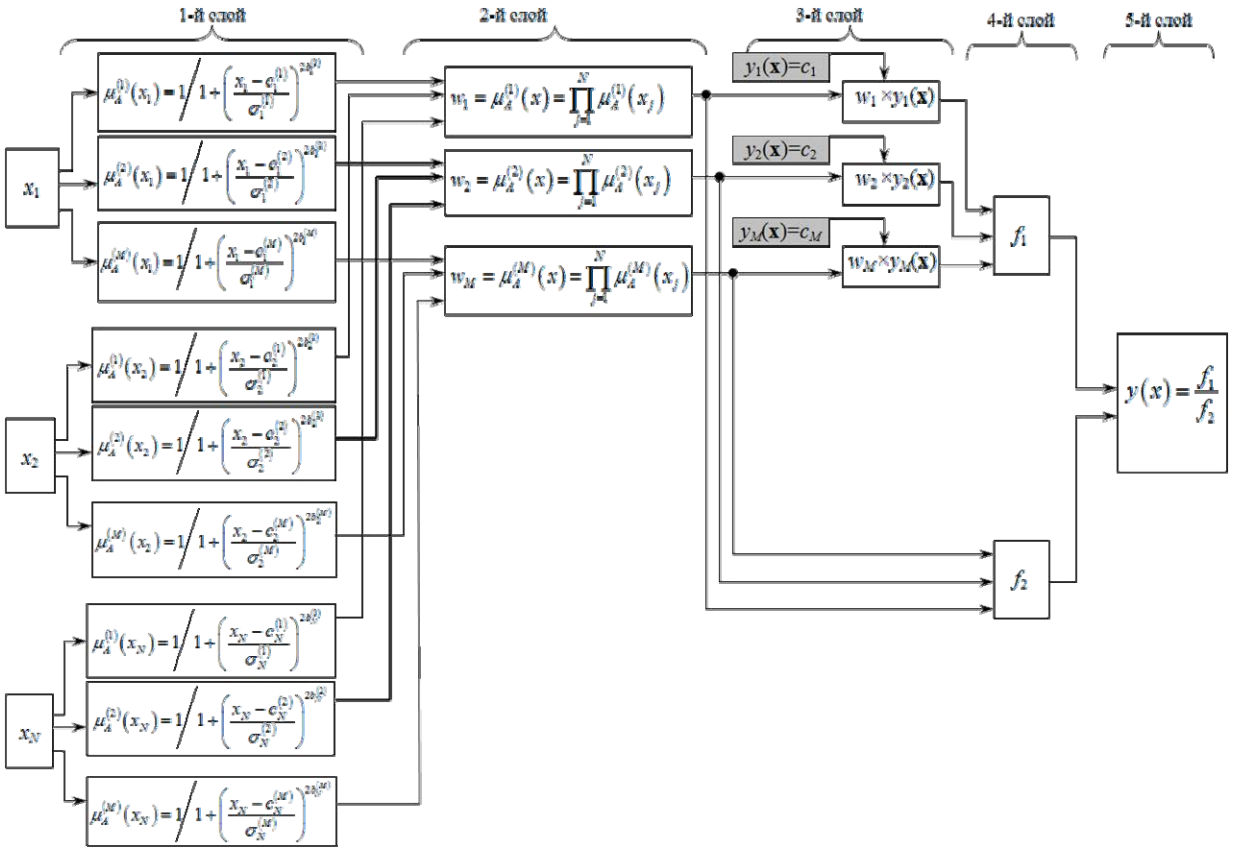


Рис. 5. Детальная схема ННС используемой для решения вопросов, связанных с прогнозированием изменения состояния сложного объекта в автодорожном комплексе

Выводы и дальнейшие перспективы. Реализована общая концепция ННС для решения задач прогнозирования изменения состояния сложных объектов в автодорожном комплексе. В частности, в работе [12] реализован метод прогнозирования числа ДТП в зависимости от трех показателей [13]: автомобилезации, ТЭС АД и плотности населения. В работе на основе детального исследования [14] рассматривается проблема обеспечения потребностей города в асфальтобетонных смесях с точки зрения моделирования дислокации и мощности асфальтобетонных заводов (АБЗ) в городских условиях. На основе применения ННС [15] и многофакторной оптимизации решается выбора места дислокации и мощности АБЗ для обеспечения потребностей города в асфальтобетонных смесях. Особого внимания заслуживает методика прогнозирования ТЭС АД как элемента системы поддержки принятия решений в автодорожном комплексе. Данное направление является наиболее перспективным в настоящее время. Автором предложена методика прогнозирования, представленная в [16].

Установлено, что ошибка прогноза после обучения ННС является приемлемой и составляет 10...15 % в зависимости от конкретной предметной области, при этом скорость обработки информации значительна. Результаты экспериментов планируются к внедрению на базе дорожно-строительных организаций области.

Представленные в работе прогностические модели предлагаются в качестве основы для разработки систем управления соответствующими объектами и процессами в автодорожной отрасли. На основе разработанных алгоритмов и моделей автором ведется дальнейшая работа по созданию комплексной системы поддержки принятия решений при управлении сложными объектами в автодорожном комплексе, которая будет способствовать получению значительного социально-экономического эффекта в отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Fraumeni B. M.* The contribution of highways to GDP growth // National Bureau of Economic Research. 2009. Paper № 14736.

2. *Скоробогатченко Д. А.* Проблемы управления финансовыми средствами на содержание транспортной инфраструктуры региона // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2010. № 1 (11). С. 170—173.

3. *Боровик В. С., Боровик В. В., Прокопенко Ю. Е.* Модель управления внедрением в трехмерном пространстве и времени // Известия ВолгГТУ. 2014. Т. 20. № 6 (133). С. 24—28.

4. *Armstrong J. S., Collopy F., Yokum J. T.* Decomposition by causal forces: a procedure for forecasting complex time series // International Journal of Forecasting. 2005. Vol. 21. №. 1. Pp. 25—36.

5. *Loukeri E. D., Chassiakos A. P.* Development of Pavement Performance Models using Fuzzy Systems // Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Computational Technology. Portugal: Lisbon, 2004. Paper № 129.

6. *Hsieh T. Y., Wang M. H. L., Chen C. W.* A case study of S-curve regression method to project control of construction management via T-S fuzzy model // Journal of Marine Science and Technology. 2004. Vol. 12. № 3. Pp. 209—216.

7. *Ivanov V., Shyrokau B.* Fuzzy architecture of safety-relevant vehicle systems // Proceedings of 4th International Workshop on Reliable Engineering Computing (REC 2010). Singapore, 2010. Pp. 3—5.

8. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.

9. *Скоробогатченко Д. А.* Моделирование изменения эксплуатационного состояния автомобильных дорог с учетом информации качественного характера // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 4. С. 40—42.

10. Использование нечетких нейронных сетей при ТОиР дорожно-строительных машин / М. В. Денисов, А. В. Кизим, С. В. Давыдова, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев // Известия ВолгГТУ. 2014. Т. 20. № 6 (133). С. 29—34.

11. *Teshnehlab M., Shoorehdeli M. A., Sedigh A. K.* Novel Hybrid Learning Algorithms for Tuning ANFIS Parameters as an Identifier Using Fuzzy PSO // Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008. IEEE International Conference, 6—8 April 2008. Pp. 111—116.

12. *Скоробогатченко Д. А., Ерохин А. В.* Нечеткая нейросетевая модель для прогнозирования числа ДТП региона в условиях ограниченной информации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 36(55). С. 174—181.

13. *Zheng L., Meng X.* An approach to predict road accident frequencies: application of fuzzy neural network // Paper presented at the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14—16, 2011, Indianapolis, USA.

14. *Clist M.* Plant Location Modelling for the Concrete and Asphalt Industries. URL: http://www.orsnz.org.nz/conf36/papers/Clist.pdf

15. *Скоробогатченко Д. А., Боровик М. С.* Моделирование задачи размещения асфальтобетонных заводов в городских условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. № 39 (58). С. 213—223.

16. *Скоробогатченко Д. А.* Методика прогнозирования эксплуатационного состояния автомобильных дорог на основе представления нечетких множеств нейронными сетями // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. № 2. С. 72—77.

© Скоробогатченко Д. А., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Скоробогатченко Д. А. Прогнозирование состояния сложных объектов автодорожного комплекса на основе нечетких нейронных сетей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 188—198.

Об авторе:

Скоробогатченко Дмитрий Анатольевич — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления дорожным хозяйством, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, Skor2004@rambler.ru

D. A. Skorobogatchenko

FORECASTING OF THE STATE OF COMPLEX OBJECTS IN THE ROAD SECTOR BASED ON FUZZY NEURAL NETWORKS

The article discusses the issues of application of fuzzy neural network for solving a wide range of tasks related to the prediction in complex systems in the road sector. The proposed concept takes into account the specifics of the processes occurring in the road sector. As examples of the use of fuzzy neural networks in road-transport complex presented are the results of forecasting the number of road accidents, management of transport and operating state of highways and optimization of the placement of asphalt plants.

K e y w o r d s: fuzzy neural network, forecasting of changes in the state of complex objects, road complex.

REFERENSES

1. Fraumeni B. M. The contribution of highways to GDP growth. *National Bureau of Economic Research*, 2009, paper № 14736.

2. Skorobogatchenko D. A. [Problems of financial management for the maintenance of transport infrastructure in the region]. *Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa* [Business. Education. Law], 2010, no. 1 (11), pp. 170—173.

3. Borovik V. S., Borovik V. V., Prokopenko Yu. E. [Model of implementation in three space and time]. *Izvestiya VolgGTU* [Izvestiya VSTU], 2014, vol. 20, no. 6 (133), pp. 24—28.

4. Armstrong J. S., Collopy F., Yokum J. T. Decomposition by causal forces: a procedure for forecasting complex time series. *International Journal of Forecasting*, 2005, 21(1), pp. 25—36.

5. Loukeri E. D., Chassiakos A. P. Development of Pavement Performance Models using Fuzzy Systems. *Proc. of the 4th Int. Conf. on Engineering Computational Technology*. Portugal, Lisbon, 2004. Paper № 129.

6. Hsieh T. Y., Wang M. H. L., Chen C. W. A case study of S-curve regression method to project control of construction management via T-S fuzzy model. *Journal of Marine Science and Technology*, 2004, 12(3), pp. 209—216.

7. Ivanov V., Shyrokau B. Fuzzy architecture of safety-relevant vehicle systems. *Proc. of 4th Int. Workshop on Reliable Engineering Computing (REC 2010).* Singapore, 2010. Pp. 3—5.

8. Osovskii S. *Neironnye seti dlya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Moscow, Finances and statistics, 2002. 344 p.

9. Skorobogatchenko D. A. [Simulation of Changes in Operational Condition of Highways Taking into Account Qualitative Information]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2011, no. 4, pp. 40—42.

10. *Denisov M. V., Kizim A. V., Davydova S. V., Davydov D. A., Kamaev V. A.* [The using of agents and fuzzy neural networks for maintenance and repair on example of road-building machines]. *Izvestiya VolgGTU* [Izvestiya VSTU]**,** 2014, vol. 20, no. 6 (133), pp. 29—34.

11. Teshnehlab M., Shoorehdeli M. A., Sedigh A. K. Novel Hybrid Learning Algorithms for Tuning ANFIS Parameters as an Identifier Using Fuzzy PSO. *Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008.* IEEE International Conference, 6—8 April 2008. Pp. 111—116.

12. Skorobogatchenko D. A., Erokhin A. V. [Fuzzy connectionist model to forecast the number of accidents in the region taking into account limited information]. *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], 2014, iss. 36(55), pp. 174—181.

13. Zheng L., Meng X. An approach to predict road accident frequencies: application of fuzzy neural network. *Paper presented at the 3rd Int. Conf. on Road Safety and Simulation*, September 14—16, 2011, Indianapolis, USA.

14. Clist M. *Plant Location Modelling for the Concrete and Asphalt Industries*. URL: http://www.orsnz.org.nz/conf36/papers/Clist.pdf

15. Skorobogatchenko D. A., Borovik M. S. [Modeling of placement of asphalt concrete factories in cities]. *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], 2015, iss. 39(58), pp. 213—223.

16. Skorobogatchenko D. A. [Method of forecasting the operational status of roads on the basis of representation of fuzzy sets of neural networks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2011, no. 2, pp. 72—77.

For citation:

Skorobogatchenko D. A. [Forecasting of the state of complex objects in the road sector based on fuzzy neural networks]. *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], 2016, iss. 45(64) pp. 188—198.

About author:

Skorobogatchenko Dmitrii Anatol'evich — Doctor of Engineering Science, Docent, Docent of Economy and Administration of Public Roads Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Skor2004@rambler.ru

УДК 378.14

М. Г. Дьякова, Е. Н. Рыданова, В. Г. Поляков

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

МЕЖКУЛЬТУРНАЯ КОММУНИКАЦИЯ В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Исследуются проблемы межкультурной коммуникации. Рассматриваются теоретические аспекты коммуникативной деятельности и их реализация в образовательном процессе архитектурно-строительного вуза.

К л ю ч е в ы е с л о в а: межкультурная коммуникация, адаптация.

Ежегодно волгоградские вузы принимают на обучение студентов из ближнего и дальнего зарубежья, и Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет находится в их числе. Авторы статьи попытались выявить наиболее значимые аспекты профессионально-педагогической деятельности, связанные с обучением иностранных студентов в ВолгГАСУ.

Анализ практического опыта образовательной и воспитательной работы проведен с использованием теоретической и методологической базы таких научных направлений как культурология, социология, коммуникативная лингвистика, педагогика, психология. Междисциплинарный подход убирает одномерность научного восприятия и дает авторам возможность значительно расширить исследовательское пространство, выявить проблемные зоны в работе с иностранными студентами и выбрать оптимальные пути выхода из сложных ситуаций, а также наметить перспективы наиболее эффективной организации учебно-воспитательного процесса.

Безусловно, все перечисленные задачи не могут быть решены в рамках одной статьи. Поликультурная среда ВолгГАСУ дает богатый и интересный материал для изучения. Авторы планируют продолжить работу в данном направлении и приглашают к совместному сотрудничеству всех заинтересованных лиц.

Поскольку первым этапом любого научного исследования является сбор и описание исследуемого материала, то цель данной статьи можно определить как эмпирическое исследование по заявленной теме с применением таких методов как наблюдение, опрос, описание, факторный анализ, а также сравнительно-исторический метод.

Обучение иностранных студентов в ВолгГАСУ ведется с 1990 г. За 25 лет успешной работы на международном рынке образовательных услуг авторитет и известность вуза значительно выросли, что позволило к настоящему времени увеличить прием иностранных студентов и расширить географию стран и регионов, заинтересованных в подготовке специалистов архитектурно-строительной отрасли именно в Волгограде. Рост количества обучающихся на основных образовательных программах тесно связан с открытием собственного подготовительного факультета для иностранных граждан.

По результатам отчета, представленного Отделом международного образования и сотрудничества ВолгГАСУ, в 2015—2016 учебном году в нашем университете обучаются 165 иностранных студентов из 42 стран мира. Более 40 из них учатся в Институте строительства и жилищно-коммунального хозяйства по направлению «Строительство». Именно эта часть студенческой аудитории и стала предметом нашего исследования.

Авторы провели опрос, в котором предложили иностранным студентам рассказать об их родине и поделиться впечатлениями от учебы и жизни в России. В опросе приняли участие студенты из Нигерии, Ганы, Гвинеи-Бисау, Йемена, Ирака, Сирии, Палестины, Иордании и других стран. Это помогло не просто лучше узнать данную студенческую аудиторию, но и более четко определить границы и наполняемость изучаемого межкультурного коммуникативного пространства. Универсальное понятие «иностранные студенты», чаще всего дифференцируемое лишь по группам (африканцы, арабы, индусы, азиаты и т. д.), приобрело конкретику и яркость. Ведь араб из Йемена и араб из Ирака — это совсем разные арабы! Каждая из стран, откуда приехали студенты, имеет свою древнюю историю, уникальную культуру, о которой они готовы говорить охотно и с гордостью.

Большинство иностранных студентов аргументировали свой выбор вуза именно широким спектром предлагаемых образовательных программ по подготовке инженерных кадров, в которых заинтересована промышленность их стран. У многих в строительной сфере уже существуют целые семейные династии, и студенты планируют продолжить дело своих родителей. Опрос иностранных студентов в период поступления и выбора специальности показывает наличие неподдельного интереса к учебе. Студенты уверены в том, что будут востребованы как специалисты на родине, нацелены на построение успешной карьеры и считают годы обучения важным и ответственным этапом в жизни. Иностранные студенты готовы преодолеть все трудности, связанные как с освоением профессии, так и с жизнью в чужой стране в разлуке с семьей и близкими. Возможность посетить родину выпадает нечасто — раз в год, а порой и реже. У многих братья и сестры также учились или учатся за границей, поэтому семья уже имеет положительный опыт такого обучения и применения полученных знаний на родине.

Таким образом, иностранная студенческая аудитория уже на этапе выбора готовится к преодолению возможных трудностей коммуникации в новой социокультурной и информационной среде. Администрация и преподаватели нашего университета со своей стороны готовы оказывать учащимся из зарубежных стран всестороннюю помощь и поддержку. Для успешной организации образовательного процесса актуальным становится изучение возможностей оказания эффективной помощи иностранному студенту в период адаптации.

Иностранным студентам, длительное время живущим в чужой стране, необходимо в первую очередь адаптироваться к новым социокультурным условиям. Они должны не только приспособиться, но и стать полноценными членами этого нового общества и культуры. Термин «адаптация» пришел в гуманитарное научное знание из кибернетики. Объектом кибернетики являются любые управляемые системы, к коим принадлежат и культура, и общество, и человек. Вопросы биологической и социально-психологической адап-

тации саморазвивающихся систем рассматриваются с позиции математики, логики, семиотики, физиологии, биологии, социологии, культурологии. Широкий синергетический подход к проблемам адаптации позволяет нам выделить культурную адаптацию в целом в качестве интегрированного показателя состояния человека как социального существа к условиям, нормам, принципам культуры.

Межкультурная коммуникация включает когнитивные механизмы адаптации во всех видах деятельности: мышление, язык, сознание, познание. Новая для иностранных студентов социокультурная среда представляет собой сложную многогранную и многофункциональную систему, в которой каждый отдельный ее компонент может быть представлен как текст, в котором вся информация закодирована в особых знаках, символах, формах [1, 2]. Каждая культура вырабатывает свои способы организации и хранения ненаследственной информации, доступ к которой в полной мере открыт только ее носителям. При попадании человека в инокультурную среду несовпадение кодовых систем родной и чужой культуры — от разговорного языка и норм поведения, до ментальных и архетипических характеристик — может вызвать когнитивный диссонанс и стать причиной психологического дискомфорта [3, 4]. Семиотические свойства культуры позволяют использовать отдельные методы лингвокультурологии и коммуникативной лингвистики при адаптации текста в качестве интегрирующих принципов социокультурной адаптации в целом [5—7].

1. *Уровень категоризации* текстообразующих концептов, на котором происходит упорядочение информации по шкале «конкретное — абстрактное» выступает как овладение способностью воспринимать иные культурные установки в соотнесении с подобными в структуре собственной культуры. Синхронизация культур в сознании субъектов межкультурной коммуникации помогает воспринимать общее и частное как вариативность культурной конкретизации сходных абстрактных смыслов. Адаптация заключается в умении находить и использовать компоненты, имеющие аналоги в культуре собственной, принимая их внешнюю несхожесть, а также спокойно относиться к тому, что по разным причинам расходится с базовыми установками материнской культуры.

2. *Способ концептуализации* информации (понятийный, образный, оценочный или их различные сочетания) в межкультурной коммуникации в образовательном процессе происходит в виде институционального общения, построенного по принципу статусных, ролевых отношений: преподаватель — студент, студент — студент. В каждой культуре обязательно присутствует нормативная модель поведения учителя и ученика. Эта модель является универсальной, возможные незначительные расхождения носят формальный характер и не затрагивают ее принципиальных основ, поэтому она может быть использована в любой другой культуре. Попадая в заданные рамки статусно-ролевых отношений, иностранные студенты могут использовать как имеющиеся у них конкретные знания, так и свою способность к эмоционально-чувственному восприятию информации, выстраивая понятийный, образный и оценочный ряд по принципу зеркальных систем [8]. При зеркальном общении коммуниканты настраиваются друг на друга, получая дополнительную информацию в виде реакции собеседника на их речь, интонацию, мимику, жес-

тикуляцию, манеру общения, внешний вид, манеру держаться и пр., приводя их в соответствие с условиями коммуникации. Выбор коммуникативных стратегий значительно расширяется, если студент и преподаватель способны наладить диалог, раскрывающий новые возможности восприятия мира и способствующий реализации культурного потенциала каждого из них.

3. *Степень сложности* формальной организации текста может рассматриваться с точки зрения доступности отдельных культурных форм для представителей иной культуры или для ее носителей. То, что в родной культуре человек делал не задумываясь, следуя заведенному порядку, в чужой культуре ему приходится делать осознанно, анализируя имеющийся культурный опыт и выстраивая новые алгоритмы поведения. Носитель данной культуры не всегда может понять трудности иностранца, поскольку воспринимает свою культурную среду как естественную и действует в ней также автоматически. При межкультурной коммуникации поиск наиболее эффективных способов перевода культурных смыслов производится представителями каждой из задействованных в ней культур: одним нужно правильно объяснить, другим — правильно понять. Оформление отдельных текстов культуры (нравственные принципы, правовые установки, религиозные догматы, иерархия ценностей и пр.) производится с учетом культурно-исторического опыта и может содержать разный процент универсального и самобытного. При адаптации формальные признаки культуры приводятся в соответствие с их содержательным компонентом, достигается логическая, эмоциональная, эстетическая согласованность субъектов межкультурной коммуникации.

В предыдущих статьях, посвященных выходу человека в инокультурное пространство, мы поднимали вопросы, связанные с формированием компетенций межкультурного взаимодействия как необходимым компонентом образовательного процесса [9], а также рассматривали основные механизмы межкультурной коммуникации в поликультурной среде современного общества в эпоху глобализации [10]. Продолжая тему взаимодействия и взаимовлияния культур, мы хотели бы рассмотреть ее с позиции конкретных субъектов межкультурной коммуникации «преподаватель — студент». Сразу же следует отметить, что разделение субъектов коммуникации носит, скорее, умозрительный характер: если формально они разведены, то в реальности практически каждый аспект коммуникации затрагивает интересы и студента, и преподавателя, а также требует их совместных усилий по выработке оптимальных способов и средств коммуникативного поведения.

В процессе освоения нового для себя межкультурного и образовательного пространства иностранные студенты проходят ряд этапов, которые выстроены по принципу иерархической соподчиненности [11]:

1) наличие интереса и готовности к обучению (ценности, потребности, смыслы);

2) приобщение к ценностям культуры другой страны (преодоление, творчество, эмоции, чувства);

3) освоение способов и приемов эффективного осуществления учебной деятельности и межкультурного пространства (знания, оценка, рефлексия, осмысление);

4) освоение знаний, дающих основу будущей профессиональной деятельности (система критериев и норм, правил поведения, традиций).

Освоение каждого следующего этапа возможно лишь на основе предыдущего, и поскольку они включены один в другой, коммуникативный опыт суммируется, что позволяет студенту выходить на новый уровень общения.

Обучение в техническом вузе имеет свою специфику, определяемую решением большого количества задач предметно-практического характера, сложностью профессиональной терминологии, наличием графиков, формул и чертежей, а также отсутствием умения у иностранных студентов быстро фиксировать поступающую информацию на русском языке. Отсутствие технических и технологических навыков и умений по воспроизводству и анализу информации начинают вызывать затруднения в обучении. Некоторые студенты пробуют записывать лекции на родном языке или на английском, который, в своем большинстве, знают неплохо. Такие лекции чаще всего требуют обратного перевода на русский язык, что занимает дополнительное время студента. Таким образом, получается удвоенный труд и вдвойне потраченное время, но и это не всегда ведет к намеченному результату, так как многие преподаватели не делают скидки на разницу в школьных образовательных программах разных стран, а предъявляют одинаковые требования ко всем студентам. Последнее, несомненно, является справедливым, но не всегда своевременным требованием.

Идеалы, которые выполняли роль стимулов в учебном процессе, начинают уступать место разочарованиям, приходит потеря веры в свои силы. Первые неудачи в обучении у иностранного студента совпадают с адаптацией к новой социокультурной среде (город, вуз, общежитие), и в данный период мы отмечаем снижение интереса к учебе, пропуски занятий. Некоторые студенты перестают выходить из общежития, общаться с одногруппниками, весь день они заняты звонками домой, друзьям, родным и знакомым, погружаясь в привычный мир посредством интернет-общения. Свое состояние студенты описывают как апатию, депрессию и, как следствие, испытывают трудности в обучении и разочарование в профессии.

Таким образом, возникает противоречие между идеальным представлением иностранного студента о достигнутом уровне знаний, навыков, способностей, системой мотивов и типами его связей с окружающей средой, которые работали в родной культуре, но, несмотря на все его старания, перестали работать в реальном воплощении в условиях нового социокультурного и образовательного пространства, знаменующее собой кризис. Кризисная точка, обозначающая переход от одной стадии развития к другой, от одного качественного состояния к другому и подтверждающая, что субъект находится в состоянии развития, может быть использована преподавателями для формирования необратимых качественных изменений, связанные с переходом к новому уровню [12].

Для выделения уровней освоения межкультурной коммуникации в рамках образовательного процесса мы использовали разработанную В. С. Ильиным процедуру, основанную на рассмотрении формирования свойств личности в двух аспектах: 1) как они обеспечивают активность личности по отношению к той или иной стороне объективного мира; 2) как они обеспечивают гармонизацию, координацию, объединение всех проявлений личности в целое [13]. Выделяют четыре уровня сформированности личности:

Первый уровень характеризуется аморфностью системы. Еще нет возможности говорить о сколько-нибудь сложившейся структуре. Система ведет себя случайным образом, непредсказуемо, велика ее зависимость от внешней среды.

Второй уровень отличается появлением связей между группами элементов в системе. В ней образуются фрагменты структуры, устанавливаются причинно-следственные связи, поведение системы становится предсказуемым в определенных ситуациях, но остается неустойчивым.

Третий уровень выделяется по наличию связей практически между всеми элементами системы; выстраивается ее внутренняя структура, поведение становится более устойчивым, то есть проявляется на уровне тенденций в большинстве ситуаций жизнедеятельности. Однако система еще не устойчива, ее структура может быть разрушена внешними воздействиями.

Четвертый уровень развития системы — это уровень, когда связи между элементами системы становятся устойчивыми, выстраиваются в иерархическую структуру; устойчивым и автономным (относительно независимым от внешней среды) становится поведение системы. На этом уровне внешние факторы отступают на второй план, когда система включает освоенную среду в качестве элементов своей структуры.

Исходя из определений данной шкалы, мы предполагаем, что межкультурная коммуникация в рамках образовательного процесса для иностранных студентов в течение первого года обучения еще не сформировалась и находится в аморфном состоянии, в то же время намечается переход ко второму уровню, о чем и свидетельствует наличие кризисной точки.

Именно на этом этапе кризиса решение проблемы возможно через реализацию следующих положений:

1. Признание того, что влияние внешних условий является определяющим фактором в решении иностранного студента принимать или отвергать ценности нового общества.

2. Ведущую роль в процессе обучения должен составлять принцип встречной активности. Ответственность за межкультурную коммуникацию в рамках образовательного процесса лежит не только на студенте-иностранце, но и на преподавателе.

Преподаватель, работающий с иностранными студентами, должен хорошо знать социально-экономическую, религиозную, правовую, этическую, эстетическую специфику тех стран, с выходцами из которых ему предстоит довольно плотное и длительное сотрудничество. Особенности национального характера, менталитета и архетипа, присущие данному народу, — это глубинные пласты родовой памяти, с которыми надо обращаться бережно и умело. Знание и уважение, которые преподаватель демонстрирует в отношении культуры своего иностранного студента, во-первых, укрепят его авторитет в глазах студента, во-вторых, помогут избежать неловких или конфликтных ситуаций, возможных при значительном несовпадении культурных норм, а в-третьих, дадут возможность наладить хорошие, доверительные отношения, которые необходимы в совместной работе.

На этот перечень знаний, умений и навыков, необходимых преподавателю высшей школы, указывает профессор С. Д. Резник [14]. Помимо понимания концептуальных основ предмета, преподаватель должен обладать зна-

ниями возрастных, социальных, психологических и культурных особенностей студентов, а также знаниями сущности процессов обучения и воспитания, их психологических основ, методами активации творческой деятельности и адаптации в новых условиях.

В качестве активатора адаптационных процессов А. В. Морозов предлагает включить в формулировку «адаптация» понятие потребности, так как максимально возможное ее удовлетворение является важным критерием эффективности адаптационного процесса [15]. Выделяя в проблеме иностранных студентов, обучающихся в нашем вузе, потребность быть услышанными, понятыми, быть интересными и общаться на равных, руководством Института строительства и ЖКХ Волгоградского государственного строительного университета было принято решение об организации целенаправленного процесса, включающего собственную активность иностранного студента. А профессиональная направленность, учебная мотивация и познавательные интересы должны стать при этом внутренней стороной активности.

В педагогической психологии наличие эмоциональной удовлетворенности рассматривается как фактор, влияющий на интерес к профессии, обучению, склонность заниматься проблемой, несмотря на трудности. Наличие такой эмоциональной удовлетворенности отмечено нами в группах, где работают преподаватели, не относящиеся к своей работе формально. Они ведут с иностранными студентами активный диалог и сами предлагают различные способы узнавания друг друга.

Одним из эффективных способов знакомства с данной студенческой аудиторией признана презентация как иллюстрированный рассказ студентов-иностранцев о своей национальной культуре. Группа студентов из одной страны совместно готовит небольшой культурно-исторический экскурс, в качестве докладчика выступает один-два студента, лучше других владеющие русским языком. В числе положительных результатов подобных докладов преподаватели отмечают следующее:

при подготовке к докладам студенты-иностранцы выходят на конструктивный диалог с преподавателем, стараются понять требования преподавателя и соответствовать им, пытаются проявить свои лучшие качества и в дальнейшем заслужить положительную оценку своей работы;

сокурсники, как правило, хорошо воспринимают новую информацию, поскольку она удовлетворяет их естественный интерес к представителям иной культуры, помогает лучше понять и оценить своих иностранных товарищей по группе, правильно выстроить личностные отношения;

российские студенты впервые осознают, какой социокультурный барьер приходится преодолевать их иностранным сокурсникам, охотнее помогают им в затруднительных ситуациях, учебе и в повседневной жизни, чаще берут на себя инициативу вовлечения иностранцев в свою студенческую жизнь (не секрет, что сами иностранцы нередко стесняются обращаться с подобными просьбами);

иностранные студенты чувствуют себя представителями родной страны, нации, культуры и поэтому более ответственно относятся к своему поведению, внешнему виду, манере общения, а проявления культурной самобытности стараются превратить не в раздражающий, а в располагающий фактор общения с носителями принимающей их культуры.

Преподаватели также готовятся к этим презентациям и в любой момент могут поддержать выступающего, скорректировать текст, а в случае необходимости — пояснить или дополнить отдельные части доклада.

Уровень социокультурной компетентности преподавателя зависит не только от его информированности в отношении культурно-исторической идентификации студенческой аудитории. Знание культурных различий и умелое использование этих знаний требуют от преподавателя любой учебной дисциплины основательной теоретической подготовки в вопросах функционирования общества и культуры. Только собственный опыт и практика многолетней работы с интернациональной студенческой аудиторией (как и обыденный опыт общения с отдельными представителями иных национальных культур) недостаточны для успешной организации учебного процесса. Преподаватель должен не просто наблюдать и описывать культурные особенности иностранного студента (манеру поведения, интеллектуальные возможности, эмоциональные реакции и др.), но и иметь возможности их объяснить. Знание механизмов межкультурной коммуникации помогает преподавателю наладить продуктивный диалог с иностранным студентом, а точная формулировка критериев социокультурной значимости тех или иных решений и мероприятий по организации учебно-воспитательного процесса в ВУЗе обеспечивает слаженную работу всех его участников на разных этапах.

Для реализации задач по обеспечению благоприятных условий межкультурной коммуникации и адаптации директором Института строительства и ЖКХ профессором В. Г. Поляковым было предложено открыть Международный центр обмена культурными традициями как постоянно действующее межкультурное коммуникативное пространство, на котором студенты из зарубежных стран смогут общаться с администрацией и преподавателями по проблемам учебной и внеучебной деятельности, а также знакомиться и налаживать контакты между собой. В 2015—2016 учебном году центр начал действовать, и его интенсивная работа, несомненно, принесла свои плоды. Выявлен круг интересов, составлен график встреч и определена их тематика. Для иностранных студентов, обучающихся по направлению «Строительство», преподавателями кафедры экономической теории, истории и права проводятся лекции, на которых студентов из африканских и арабских стран знакомят с историей и культурой России, государственными праздниками, традициями, обычаями.

В ноябре 2015 г. состоялась открытая лекция, посвященная Дню народного единства (доц. Воробьев Е. П.). Иностранным студентам рассказано об истории возникновения государственного праздника и его значении для граждан России, а также о символике российской государственности.

В декабре 2015 г. проведено анкетирование иностранных студентов строительных специальностей (доц. Дьякова М. Г., доц. Рыданова Е. Н.), по результатам которого начата работа по изучению данной студенческой аудитории и выработке эффективных способов взаимодействия преподавателя и студента. Многолетний опыт работы со студентами из зарубежных стран использован и применен в новом качестве: от унифицированной безличностной направленности к персонифицированной работе с аудиторией. Изменен подход к объекту образовательного процесса с учетом набора личностных качеств студента, его интеллектуальных, эмоциональных, психологических

особенностей, обусловленных базовыми характеристиками формирующей конкретную личность культуры.

1 февраля 2016 г., в канун празднования победы в Сталинградской битве проведена открытая лекция на тему «История России. Освобождение Сталинграда от немецко-фашистских захватчиков в 1943 г.» (проф. Поляков В. Г., доц. Воробьев Е. П., доц. Песков А. Е.).

По окончании лекции состоялось обсуждение вопросов, связанных с учебой, дисциплиной и внешним видом студентов в стенах учебного заведения. Иностранные студенты высказали пожелание подробнее узнать правила студенческого дресс-кода в ВолгГАСУ.

29 февраля 2016 г. состоялась лекция с презентацией на тему «Дресс-код студента» (доц. Дьякова М. Г.). Иностранным студентам рассказано о традициях введения специальной студенческой формы как знаку принадлежности к конкретному учебному заведению и к конкретной профессии. Поскольку в ВолгГАСУ не предусмотрено ношение специальной студенческой формы, студенты должны посещать занятия в одежде, соответствующей деловому стилю. По мнению психологов, такая одежда настраивает на деловое общение, дисциплинирует и помогает создать благоприятную атмосферу, в которой знания студента во время зачета, экзамена, защиты диплома, выступления на научной конференции и пр. будут оценены максимально высоко. Элегантность и сдержанность — важная часть профессионального имиджа инженера, и одежда для повседневного посещения занятий должна быть сдержанной, демонстрируя такие качества студента, как ответственность, аккуратность, серьезное отношение к учебе, уважение к преподавателю.

Студенты выразили благодарность лектору и выступили с предложением показать презентацию также российским студентам, которые нарушают правила этикета в одежде. По вопросу, можно ли приходить на занятия в национальной одежде и головных уборах, сошлись на мнении, что подобный вариант вполне уместен для посещения внеучебных мероприятий (праздников, концертов, фестивалей), в остальных же случаях этнические компоненты в одежде должны применяться минимально, не разрушая целостность образа старательного студента и не отвлекая внимание сокурсников и преподавателей от работы. Одежда, указывающая на конфессиональную принадлежность, в светском учебном заведении не допускается.

Лекция «История праздника „Международный женский день 8 Марта“ (доц. Песков А. Е., доц. Воробьев Е. П.) проиллюстрирована презентацией о подобных праздниках (День матери, День женщин и др.) в тех странах, из которых приехали студенты. По каждой стране рассказ преподавателя дополнен студентами из стран ближнего и дальнего зарубежья, рассказано о традициях, связанных с поздравлениями женщин в их родных странах.

28 марта 2016 г. организована встреча иностранных студентов с руководством института и университета. Обсужден ряд вопросов, касающихся учебного процесса, успеваемости, посещаемости, норм проживания в общежитии и соблюдения Российского законодательства.

6 апреля 2016 г. проведено факультативное занятие со студентами 1 и 2 курса из Нигерии на тему «Экономика Нигерии в мировом пространстве. Роль строителей в экономической жизни государства» (проф. Поляков В. Г.).

В начале апреля 2016 г. иностранные студенты строительного института во главе с директором проф. Поляковым В. Г. и преподавателями университета приняли участие в традиционном весеннем субботнике. Проделана большая работа по уборке территории сквера «Дружба», заложенного студентами из арабских и африканских стран к 70-летию Победы в Великой Отечественной войне как дань уважения к памяти ветеранов.

27 апреля 2016 г. состоялась лекция на тему «История праздника 1 Мая» (доц. Песков А. Е.). Этому международному празднику в 2016 году исполняется 130 лет. Иностранные студенты рассказали, как праздник 1 Мая отмечают в их родной стране.

Работа Международного центра обмена культурными традициями открыла новые возможности межкультурной коммуникации, создала благоприятные эмоционально-психологические условия для студентов-иностранцев, позволила профессорско-преподавательскому составу университета детально изучить иностранную студенческую аудиторию и персонифицировать субъект образовательной деятельности. В качестве положительной динамики все преподаватели, задействованные в работе Центра, отметили следующее:

студенты стали более открыты для общения, охотнее идут на контакт, меньше стесняются своего плохого русского языка, так как знают, что их хотят услышать и понять, и со своей стороны прилагают к этому усилия;

доверие к преподавателям выражается в том, что студенты делятся своими увлечениями (спорт, музыка, живопись и пр.), показывают свои работы, выражают желание участвовать в спортивной и творческой жизни вуза, а также советуются по самым разным проблемам, в том числе бытовым;

студенты демонстрируют уважительное отношение к преподавателям не только на занятиях, но и вне аудитории, поскольку между ними устанавливается не формальное, а личное знакомство — на улицах города, праздничных мероприятиях они не просто встречаются, но узнают друг друга в лицо, что способствует укреплению коммуникативных связей и положительно влияет на образовательный процесс;

преподавателю становится ближе и понятнее мир его иностранного студента, и в образовательном процессе он может апеллировать к конкретным культурно-историческим реалиям этого мира.

Таким образом, эффективная образовательная деятельность при подготовке инженерно-строительных кадров из зарубежных стран в нашем вузе строится как на уровне профессионального диалога «преподаватель — студент», так и на уровне диалога культур. Межкультурная коммуникация осуществляется через образовательный процесс и внеаудиторную деятельность, оказывая существенное воздействие на иностранного студента и создавая благоприятную атмосферу для активного, творческого овладения профессией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лотман Ю. М.* Статьи по семиотике культуры и искусства. СПб.: Академический проект, 2002. 543 с.

2. *Верещагин Е. М., Костомаров В. Г.* Язык и культура. Три лингвострановедческие концепции: лексического фона, рече-поведенческих тактик и сапиентемы. М.: Индрик, 2005. 1040 с.

3. *Фрумкина Р. В.* Психолингвистика. М.: Издат. центр «Академия», 2001. 320 с.

4. *Шаховский В. И., Ионова С. В.* Человек и его языковая среда // Антропология языка: сб. ст. М., 2012. С. 137—148.

5. Россия лингвистическая: научные школы и направления / Астафурова Т. Н., Брысина Е. В., Волкова Я. А. и др. Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2012. 389 с.

6. *Дьякова А. А.* Когнитивные механизмы адаптации в текстовой коммуникации // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 2: Языкознание. 2008. № 1 (7). С. 50—57.

7. *Дьякова А. А.* Лингвоэкологический аспект адаптации текста // Экология языка и коммуникативная практика. 2015. № 1. С. 198—215.

8. *Черниговская Т. В.* Зеркальный мозг, концепты и язык: цена антропогенеза // Искусственный интеллект. Междисциплинарный подход / под ред. Д. И. Дубровского, В. А. Лекторского. М.: ИИнтеЛЛ, 2006. С. 127—148.

9. *Дьякова М. Г.* Формирование компетенций межкультурного взаимодействия в учебном курсе «Культурология» // PRIMO ASPECTU. 2014. Т. 19. № 24 (151). С. 166—169.

10. *Дьякова М. Г., Дьякова А. А.* Интеграционный потенциал культуры в поликультурной среде // PRIMO ASPECTU. 2015. Т. 21. № 7 (167). С. 15—17.

11. *Рыданова Е. Н.* Взаимосвязь основных функций коммуникативных умений и качеств личности инженера // Развитие личности в образовательных системах Юга России, Центральной Азии и Казахстана. 2009. Ч. III. С. 279—286.

12. *Борытко Н. М., Соловцова И. А., Байбаков А. М.* Педагогика: учебник для студентов пед. специальностей вузов: в 2 ч. Волгоград: ТЦ «Оптим», 2007. Ч. 1. 256 с.

13. *Ильин В. С.* Формирование личности школьника: целостный процесс. М.: Педагогика, 1984. 144 с.

14. *Резник С. Д.* Преподаватель вуза: технологии и организация деятельности. М.: ИНФРА-М, 2010. 389 с.

15. *Морозов А. В.* Деловая психология. Курс лекций. СПб.: Союз, 2000. 576 с.

© Дьякова М. Г., Рыданова Е. Н., Поляков В. Г., 2016

Поступила в редакцию
в июне 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Дьякова М. Г., Рыданова Е. Н., Поляков В. Г. Межкультурная коммуникация в рамках образовательного процесса: теоретический и практический аспекты // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 199—210.

Об авторах:

Дьякова Марина Геннадьевна — канд. культурологии, доцент, доцент кафедры экономической теории, истории и права, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, arahna_m@mail.ru

Рыданова Елена Николаевна — канд. пед. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, elenarydanova@mail.ru

Поляков Владимир Геннадьевич — д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой экономической теории, истории и права, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, polana58@mail.ru

M. G. D'yakova, E. N. Rydanova, V. G. Polyakov

INTERCULTURAL COMMUNICATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS

The article investigates the problems of intercultural communication. The theoretical aspects of communication activity and their implementation in the educational process in institutions of architecture and civil engineering are considered.

K e y w o r d s: intercultural communication, adaptation.

REFERENSES

1. Lotman Yu. M. *Stat'i po semiotike kul'tury i iskusstva* [Articles on semiotics of culture and art]. Saint Petersburg, Akademicheskii Proekt Publ., 2002. 543 p.

2. Vereshchagin E. M., Kostomarov V. G. *Yazyk i kul'tura. Tri lingvostranovedcheskie kontseptsii: leksicheskogo fona, reche-povedencheskikh taktik i sapientemy* [Language and culture. Three cross-cultural concepts: lexical background, spoken behavioral tactics and sapientem]. Moscow, Indrik Publ., 2005. 1040 p.

3. Frumkina R. V. *Psikholingvistika* [Psycholinguistics]. Moscow, “Akademiya” Publishing House, 2001. 320 p.

4. Shakhovskii V. I., Ionova S. V. [A man and his language environment]. *Antropologiya yazyka: sb. st.* [Anthropology of language: set of articles]. Moscow, 2012. Pp. 137—148.

5. Astafurova T. N., Brysina E. V., Volkova Ya. A. and al. *Rossiya lingvisticheskaya: nauchnye shkoly i napravleniya* [Linguistic Russia: schools of sciences and approaches]. Volgograd, Volgograd, Scientific Publishing House, 2012. 389 p.

6. *D'yakova A. A.* [Cognitive mechanisms of adaptation in text communication]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 2: Yazykoznanie* [Science Journal of Volgograd State University. Linguistics], 2008, no. 1 (7), pp. 50—57.

7. D'yakova A. A. [Lingvoecological aspect of adaptation of text]. *Ekologiya yazyka i kommunikativnaya praktika* [Ecology of Language and Communicative Practice], 2015, no. 1, pp. 198—215.

8. Chernigovskaya T. V. [Mirror brain, concepts and language: cost of anthropogenesis]. Dubrovskii D. I., Lektorskii V. A. (ed.). *Iskusstvennyi intellekt. Mezhdistsiplinarnyi podkhod* [Artificial Intelligence. Cross-disciplinary approach]. Moscow, IInteLL Publ., 2006. Pp. 127—148.

9. D’yakova M. G. [Development of the competence of cross-cultural communication during the training course “Culturology”]. *PRIMO ASPECTU*, 2014, vol. 19, no. 24 (151), pp. 166—169.

10. D’yakova M. G., D’yakova A. A. [Integration potential of culture in the multicultural environment]. *PRIMO ASPECTU*, 2015, vol. 21, no. 7 (167), pp. 15—17.

11. Rydanova E. N. [Correlation between main functions of communicative skills and engineer’s personality]. *Razvitie lichnosti v obrazovatel'nykh sistemakh Yuga Rossii, Tsentral'noi Azii i Kazakhstana* [Development of personality in educational systems of the South of Russia, Central Asia and Kazakhstan], 2009, p. III, pp. 279—286.

12. Borytko N. M., Solovtsova I. A., Baibakov A. M. *Pedagogika: uchebnik dlya studentov ped. spetsial'nostei vuzov: v 2 ch.* [Pedagogics: manual for students of pedagogical faculties of Institutions of Higher Education: in 2 parts]. Volgograd, “Optim”, 2007, part 1. 256 p.

13. Il'in V. S. *Formirovanie lichnosti shkol'nika: tselostnyi protsess* [Development of pupil’s personality: the entire process]. Moscow, Pedagogika Publ., 1984. 144 p.

14. Reznik S. D. *Prepodavatel' vuza: tekhnologii i organizatsiya deyatel'nosti* [A teacher of an Institution of Higher Education: technologiesand management of activity]. Moscow, INFRA-M, 2010. 389 p.

15. Morozov A. V. *Delovaya psikhologiya. Kurs lektsii* [Business Psychology. Course of lectures]. Saint Petersburg, Soyuz Publ., 2000. 576 p.

For citation:

D’yakova M. G., Rydanova E. N., Polyakov V. G. [Intercultural communication in the educational process: theoretical and practical aspects]. *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], 2016, iss. 45(64) pp. 199—210.

About authors:

D'yakova Marina Gennad'evna — Candidate of Culturology, Docent, Docent of Economic Theory, History and Law Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, arahna_m@mail.ru

Rydanova Elena Nikolaevna — Candidate of Pedagogical Sciences, Docent of Construction and Operation of Transport Infrastructure Facility Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, elenarydanova@mail.ru

Polyakov Vladimir Gennad’evich – Doctor of Economics, Professor, Head of Economic Theory, History and Law Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, polana58@mail.ru

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК;* на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 10 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office* (*Word 2003*); шрифт *основного текста* — Times New Roman (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300…600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *баблиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *в переводе на английский язык*, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректура статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска **серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).**

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ **www.vgasu.ru**, в разделе ***Наука / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*** (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: **400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. (8442)-96-98-46. E-mail:** vorobiov_51_vi@list.ru (ответственный секретарь журнала **Владимир Иванович Воробьев).**

Уточнить ***условия публикации статей и приобретения*** очередного номера журнала можно по тел. **(8442)-96-98-46** у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева.**

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
временно выходит в одной серии
«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,
на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — Е85343
(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета *В.И. Воробьеву*

Продолжается прием статей в очередные выпуски
серий **«Политематическая»** и **«Строительная информатика»**
электронного сетевого научно-технического журнала **«ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ»**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,*
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
***утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство **Эл № ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство **№ 594 от 20.10.11, номер гос. рег. 0421200065** (на 2012 г.), включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация на сайте журнала **www.vestnik.vgasu.ru**

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,*
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
***утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство **Эл № ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: **www. vgasu.ru**
в разделе Наука / Научные журналы.

Научное издание

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура
2016. Вып. 45(64)

Редактор *И. Б. Чижикова*
Перевод на английский язык *О. Ю. Юшко*
Компьютерная правка и верстка *М. А. Денисова, А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Подписано в печать 01.08.2016. Формат 70×108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 8,0. Усл. печ. л. 18,7. Тираж 500 экз. Заказ № 30

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1