Министерство образования и науки Российской Федерации

ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Строительство и архитектура

Вып. 4(85) Научно-теоретический и производственно-практический журнал **2021**

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta
Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura

(Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
Series: Civil Engineering and Architecture)

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград ВолгГТУ

Содержание

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

Богомолова О. А., Поздняков А. П. Способ оценки длительной устойчивости грунтовых массивов на примере нагруженного борта траншеи 6

Голиков А. В., Сложенкин Г. Е. Обзор видов и анализ причин развития дефектов и повреждений в несущих конструкциях стальных резервуаров 14

Корниенко С. В., Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Журбенко М. Д. Динамическое моделирование процесса тепловлагопереноса в многослойных ограждениях 29

Ушаков А. Н. О напряженно-деформированном состоянии упругой полуплоскости при действии комбинированных наклонных кусочно-линейных нагрузок 41

Ушаков А. Н. О напряженном состоянии на контурах подземных горизонтальных выработок различных форм поперечного сечения 55

Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чередниченко Т. Ф., Журбенко М. Д. Проверка эффективности засыпки керамических пустотных кирпичей для повышения теплозащитных характеристик стены расчетным методом 70

Щекочихина Е. В., Олянский Ю. И. Инженерно-геологическое обоснование строительства на просадочных грунтах Днестровско-Прутского междуречья 84

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

Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И. Влияние жесткости основания на напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды 97

Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И., Рубежанский С. В. Ямочный ремонт покрытий региональной дорожной сети Волгоградской области 106
Балакин В. В., Галанюк Я. В., Бурятинская А. В., Гаврилова Н. С., Желтоногова А. А. Актуальные проблемы и пути повышения эффективности и экологической безопасности транспортной системы Астрахани 115
Емельянова О. Е., Емельянова К. А., Тараненко И. С. Направления улучшения градоэкологического состояния Волгограда при оптимизации грузовых перевозок 129

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Бочков М. И. Определение напряженно-деформированного состояния систем с односторонними связями от кинематического смещения связей с помощью метода конечных элементов в форме классического смешанного метода 137

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Акопян Г. О., Степанян М. Р. Разработка опалубочных систем из композитных материалов 148
Буров А. М., Иванов М. В., Козловцева Е. Ю., Шайхутдинова Э. М. Совершенствование конструкции поршня бурового насоса 156
Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В. Теоретические предпосылки разработки модифицированных эпоксидных композиций на основе техногенных отходов 164
Фоменко Н. А., Меняйлова Р. А., Ляшенко А. А., Сухов А. А. Совершенствование распылительной системы 174
Фомичев В. Т., Камкова С. В., Куликова И. А., Чичерина Г. В. Защита строительных материалов и конструкций от повреждений микромицетами 183

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Торгашина С. Н., Гадаборшева Т. Б., Косовцев В. Д., Чорнобай Е. А. Математическая модель процесса теплообмена в солнечной системе теплоснабжения 192

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Москвичева А. В., Тимофеев А. Г., Федулова Е. В., Щитов Д. В., Вурдова Н. Г., Вольская О. Н. Снижение надежности сооружений систем водного хозяйства в результате биообрастания 201
Москвичева Е. В., Тимофеев А. Г., Федулова Е. В., Юрьев Ю. Ю., Вурдова Н. Г., Сидякин П. А., Вольская О. Н. Способ защиты металлических изделий от биообрастания 208
Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В. Использование импульсного тока для очистки промывных вод от примесей цинка 213

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А., Махов И. Д. Экологический подход к выполнению зеленого строительства в условиях Волгограда 220
Иванова Н. В., Дубов И. А., Назаров К. Р., Мурадов И. С. Проектирование неаллергенного озеленения урбанизированных территорий 230
Растяпина О. А., Поляков В. Г., Новокщенова Я. Д., Чебанова С. А. Градостроительные мероприятия урбанизированной среды, способствующие снижению распространения вирусных заболеваний в условиях пандемии 243

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Етеревская И. Н., Чан Тхи Зиеу Тхао. Принципы интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру современного города (на примере г. Дананг, Вьетнам) 252
Шаронова О. А., Антюфеев А. В. Функционально-градостроительная реорганизация общественных пространств на примере реновации сквера им. Симбирцева в Сталинграде — Волгограде 264

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

Стеценко С. Е., Ястребова Н. А. Градостроительно-территориальная организация городских лесозащитных насаждений 274
Ястребова Н. А., Стеценко С. Е. Типология образовательных кластеров раннего развития в структуре Волгограда 284

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Самогоров В. А. Градостроительное формирование оборонного комплекса страны в г. Куйбышеве в годы Великой Отечественной войны 294

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий 305

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Торгашина С. Н., Ерещенко Т. В., Косовцев В. Д., Чорнобай Е. А. Синергетика в педагогике 314

От редколлегии 322

Content

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

Bogomolova O. A., Pozdnyakov A. P. Method for estimation of long-term stability of soil massives on the example of a loaded tranche board 6
Golikov A. V., Slozhenkin G. E. Overview of types and analysis of the causes of defects and damages in the bearing structures of steel tanks 14
Kornienko S. V., Chesnokova O. G., Chesnokova V. D., Zhurbenko M. D. Dynamic modeling of heat and moisture transfer processes in multilayer fences 29
Ushakov A. N. On the stress-strain state of an elastic half-plane under the action of combined inclined piecewise linear loads 41
Ushakov A. N. On the stress state on the contours of underground horizontal workings of various cross-section forms 55
Chesnokova O. G., Chesnokova V. D., Cherednichenko T. F., Zhurbenko M. D. Checking the efficiency of filling ceramic employed bricks to increase the heat protection characteristics of the wall by the calculation method 70
Shchekochikhina E. V., Olyanskii Yu. I. Engineering and geological substantiation construction on insulated soils 84

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

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Glazunov I. I. Influence of base rigidity on stresses in constructive layers of road pavement 97
Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Glazunov I. I., Rubezhanskij S. V. Pothole repair of coatings of the regional road network of the Volgograd region 106
Balakin V. V., Galanyuk Ya. V., Buryatinskaya A. V., Gavrilova N. S., Zheltonogova A. A. Current problems and ways to improve efficiency and environmental safety transport system of Astrakhan 115
Emelyanova O. E., Emelyanova K. A., Taranenko I. S. Directions of improvement of the urban-ecological condition of Volgograd in the optimization of freight transportation 129

STRUCTURAL MECHANICS

Bochkov M. I. Determination of the stress-strain state of systems with unilateral connections from the kinematic displacement of connections using the finite element method in the form of the classical mixed method 137

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Akopyan G. O., Stepanyan M. R. Development of formworking systems from composite materials 148
Burov A. M., Ivanov M. V., Kozlovtseva E. Yu., Shaikhutdinova E. M. Improvement the design of the drilling pump piston 156
Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. Theoretical prerequisites for the development of modified epoxy compositions based on industrial waste 164
Fomenko N. A., Menyajlova R. A., Lyashenko A. A., Sukhov A. A. Improvement of the spray system 174
Fomichev V. T., Kamkova S. V., Kulikova I. A., Chicherina G. V. Protection of building materials and structures from damage by micromycetes 183

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

Torgashina S. N., Gadaborsheva T. B., Kosovtsev V. D., Chornobay E. A. Mathematical model of heat exchange process in solar heat supply system 192

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Moskvicheva A. V., Timofeev A. G., Fedulova E. V., Shchitov D. V., Vurdova N. G., Vol'skaya O. N. Reduced reliability of water management system structures as a result of biofouling 201
Moskvicheva E. V., Timofeev A. G., Fedulova E. V., Yur'ev Yu.Yu., Vurdova N. G., Sidyakin P. A., Vol'skaya O. N. Method of protecting metal products from biofouling 208
Fomichev V. T., Gubarevich G. P., Savchenko A. V. Use of pulse current for purification of washed water from zinc 213

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Anopin V. N., Makhova S. I., Stepanova E. A., Makhov I. D. An ecological approach to the implementation of green construction in the conditions of Volgograd 220
Ivanova N. V., Dubov I. A., Nazarov K. R., Muradov I. S. Design of non-allergenic landscaping of urbanized areas 230
Rastyapina O. A., Polyakov V. G., Novokshenova Ya. D., Chebanova S. A. Urban planning activities of the urbanized environment contributing to reducing the spread of viral diseases in pandemic conditions 243

GENERAL ARCHITECTURE

Eterevskaya I. N., Tsan Thi Dieu Thao. Principles for the coastal areas integration into the modern city planning structure (using the example of Danang, Vietnam) 252
Sharonova O. A., Antyufeev A. V. Functional-urban-planning reorganization of public spaces on the example of the renovation of the park named after Simbirtsev in Stalingrad — Volgograd 264

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

Stetsenko S. E., Yastrebova N. A. Urban-territorial organization of cities forest protection plantings 274
Yastrebova N. A., Stetsenko S. E. Typology of early development educational clusters in the city of Volgograd 284

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE

Samogorov V. A. Urban planning formation of the country defense complex in Kuibyshev during the Great Patriotic War 294

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganesyan O. V., Burlachenko A. O. The life cycle management system for the capital construction objects using digital technologies 305

ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Torgashina S. N., Ereshchenko T. V., Kosovtsev V. D., Chornobay E. A. Synergy in pedagogy 314

From Editorial Team 322

УДК 624.131

О. А. Богомолова, А. П. Поздняков

Волгоградский государственный технический университет

СПОСОБ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ НА ПРИМЕРЕ НАГРУЖЕННОГО БОРТА ТРАНШЕИ

В статье на основе известного критерия излагается подход к определению количественного показателя длительной устойчивости борта траншеи, в качестве которого выступает величина коэффициента запаса устойчивости грунтового массива. Расчеты по определению напряженного состояния борта траншеи, построению наиболее вероятных поверхностей разрушения и вычислению величин коэффициентов устойчивости выполнены на основе метода конечных элементов при помощи компьютерной программы, разработанной при участии одного из авторов данной статьи. Расчеты выполнены для широкого спектра физико-механических свойств слагающего грунта при величине коэффициента бокового давления $\xi_o = 0{,}75$, что соответствует среднему его значению для глин. В результате предложены простая формула и графики, позволяющие определить величину количественного показателя критерия длительной устойчивости борта траншеи. Показано, что предлагаемый подход может быть применен для оценки длительной устойчивости практически любого грунтового массива.

К л ю ч е в ы е с л о в а: критерий длительной устойчивости грунтового массива, области пластических деформаций, коэффициент запаса устойчивости, наиболее вероятная поверхность разрушения, количественный показатель длительной устойчивости.

1. Постановка задачи

В настоящей статье рассматривается задача об обеспечении длительной устойчивости однородного вертикального борта траншеи, находящегося под действием веса отвала, образовавшегося вследствие экскавации грунта при ее устройстве. Положение отвала не является постоянным: при расчете величина L последовательно принимает три значения: $L = 0$; $0{,}5H$; H.

При проведении расчета данный силовой фактор не представлялся в виде внешней нагрузки, изменяющейся по закону треугольника, а введен в расчетную схему как грунтовая насыпь, основанием которой является дневная поверхность исследуемого массива (рис. 1). При этом выполняется условие, что вес единицы длины прямоугольной призмы $ABCD$ равен весу единицы длины треугольной призмы MNP.

Известен критерий [1], согласно которому грунтовый массив будет обладать длительной устойчивостью, если в нем отсутствуют области пластических деформаций, определяемые условием пластичности Кулона [2, 3] для прямолинейных огибающих предельных кругов Мора, которое может быть представлено одним из трех приведенных ниже выражений:

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

где σ_1, σ_2 и σ_x, σ_z, τ_{xz} — безразмерные (в долях γh) главные нормальные напряжения и компоненты напряжения в рассматриваемой точке, определенные

на основе того или иного решения задач линейной теории упругости; $\sigma_{св} = C(\gamma h \operatorname{tg}\varphi)^{-1}$ — приведенное давление связности; C, φ, γ, θ_{max} и h — удельное сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес грунта, угол максимального отклонения и модульный размер исследуемой области (в нашем случае глубина траншеи H) соответственно.

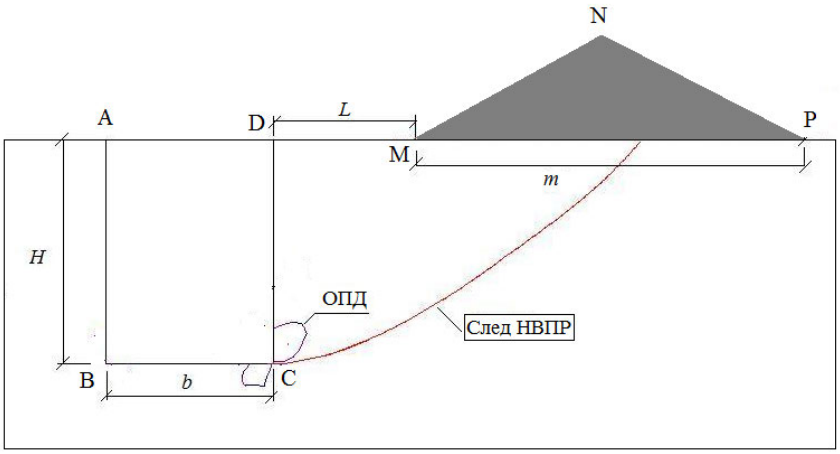


Рис. 1. Схема расположения отвала относительно траншеи

Если такие области существуют, это значит, что запущен механизм разрушения грунтового массива. Сколько времени пройдет до разрушения объекта, сказать очень трудно, но то, что он разрушится, это точно.

Решение поставленной задачи сводится к определению зависимости $K = f(\varphi; \sigma_{св})$ при условии, что величина отношения $b / H = 0{,}75$ и в грунтовом массиве отсутствуют области пластических деформаций, определяемые выражениями (1).

Отметим еще одно важное обстоятельство. Если при вычислении величины коэффициента запаса устойчивости K грунтового массива его расчетное значение превышает единицу ($K > 1$), то это еще не значит, что обеспечена длительная устойчивость последнего. Даже при выполнении условия в грунтовом массиве могут присутствовать достаточно большие по размеру области пластических деформаций, которые в зависимости от их размера, геометрии массива и физико-механических свойств грунта рано или поздно приведут к его разрушению. Поэтому нормативными документами предусмотрено при вычислении величины коэффициента запаса введение множества поправочных коэффициентов, каждый из которых больше единицы, для отыскания адекватного значения величины K. При этом теоретическое обоснование численных значений этих коэффициентов зачастую отсутствует.

2. Аппарат для проведения вычислений

Для проведения вычислений использована компьютерная программа [4], разработанная при участии одного из авторов статьи, в которой для определения напряженного состояния грунтового массива формализован метод конечных элементов (МКЭ), а для построения следа наиболее вероятной поверхности разрушения и вычисления величины коэффициента запаса устойчивости — методика, изложенная в [5].

Согласно [5], величина коэффициента запаса устойчивости K_{st} в любой точке грунтового массива и коэффициента запаса устойчивости откоса K по следу наиболее вероятной поверхности разрушения (по наиболее вероятной линии скольжения) определяются формулами

$$K_{st} = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x)\cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) + \tau_{xz}\sin 2\alpha + \sigma_{св}\right]\operatorname{tg}\varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z)\sin 2\alpha + \tau_{xz}\cos 2\alpha}, \quad (2)$$

$$K = \frac{\int_0^l F_{уд}(S)ds}{\int_0^l F_{сд}(S)ds}, \quad (3)$$

где σ_x, σ_z и τ_{xz} — компоненты полного напряжения в точке грунтового массива; $\sigma_{св} = C(\gamma H \operatorname{tg}\varphi)^{-1}$ — приведенное давление связности; C, φ, γ, H — удельное сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес грунта и глубина траншеи соответственно; $F_{уд}$ и $F_{сд}$ — удерживающие и сдвигающие силы в точках НВПР, определяемые числителем и знаменателем формулы (2) соответственно; S — дуговая координата точки на линии скольжения (рис. 3).

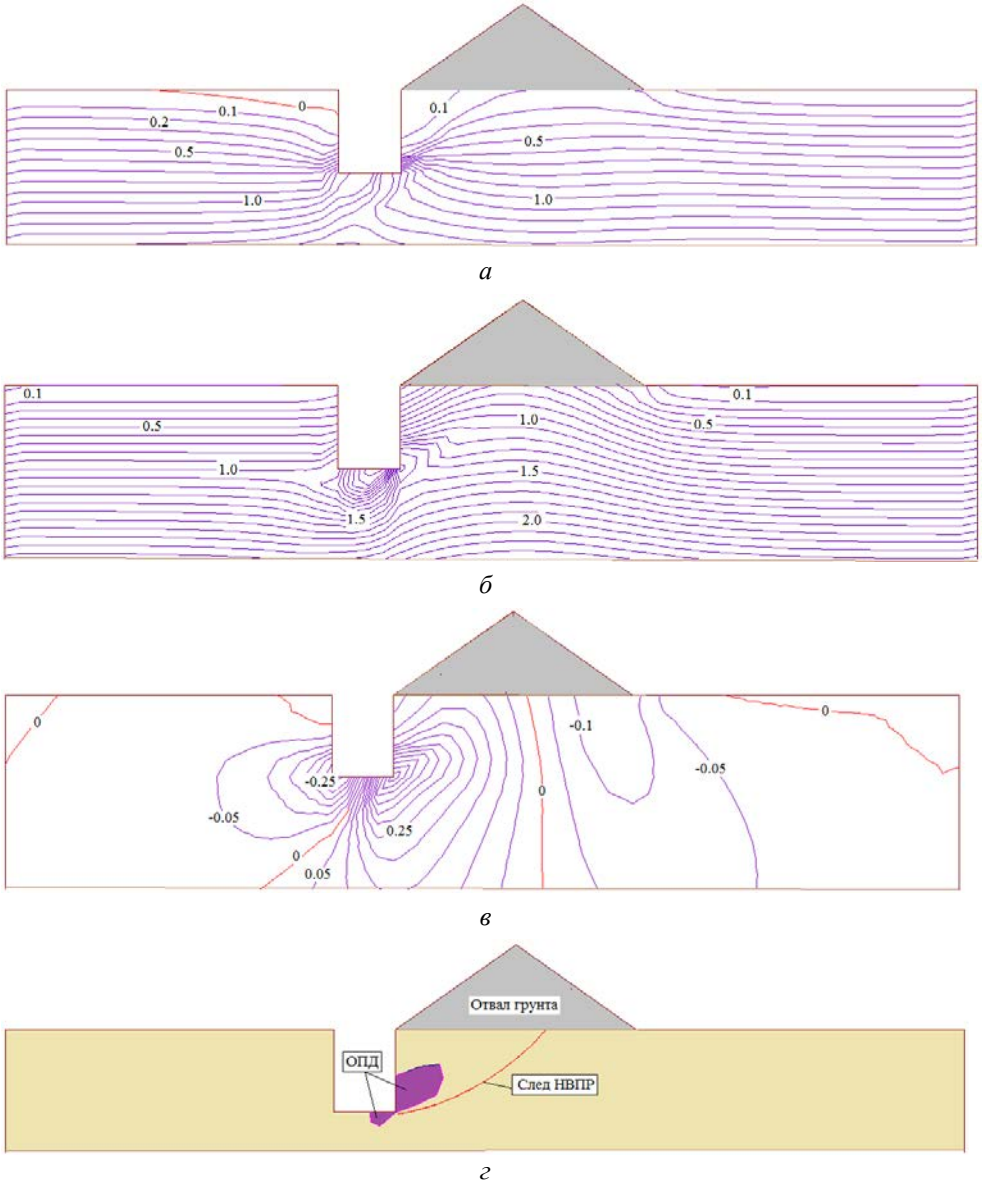
3. Результаты расчетов

На рис. 2 в качестве примера приведены изолинии горизонтальных σ_x (*а*), вертикальных σ_z (*б*), касательных τ_{xz} (*в*) напряжений, области пластических деформаций и след наиболее вероятной поверхности разрушения (скольжения) (*г*) в исследуемом грунтовом массиве при $L = 0$. Из рис. видно, что в окрестностях траншеи наблюдаются концентрации всех трех компонент напряжения, а в ее основании возникают области пластических деформаций.

На рис. 3 также в качестве примера приведены эпюры удерживающих и сдвигающих сил, действующих вдоль следа НВПР, отношение площадей которых определяет величину коэффициента запаса устойчивости откоса.

Обратим внимание на следующее обстоятельство: из рис. 2, *г* и 3 видно, что следы наиболее вероятных поверхностей разрушения проходят, не захватывая пластические области, возникшие в основании и бортах траншеи. Если ориентироваться только на расчетное значение величины $K > 1$ и не принимать во внимание присутствие достаточно больших по размеру областей пластически деформаций (ОПД), то можно сделать вывод, что откос устойчив. Однако это не так: образование пластических областей любого размера запускает процесс перераспределения напряжений в исследуемом грунтовом массиве, в том числе и вдоль следа НВПР, что повлечет за собой изменение (уменьшение) численного значения величины коэффициента запаса устойчивости K. Процесс перераспределения напряжений будет проходить перманентно вплоть до разрушения борта траншеи. Если размеры областей пластических деформаций малы, то до момента разрушения грунтового массива пройдет значительное количество времени. Если ОПД изначально имеют большие размеры, как, например, на рис. 2, *г*, то процесс разрушения объекта может произойти почти мгновенно. Поэтому суть

проведенных вычислений состоит в том, что определялись такие сочетания физико-механических свойств грунта (ФМСГ), при которых на экране монитора компьютера при проведении численного эксперимента отсутствуют области пластических деформаций. Именно для таких сочетаний ФМСГ и вычислялись численные значения коэффициентов запаса устойчивости K нагруженного борта траншеи.



а

б

в

г

Рис. 2. Изолинии напряжений: *а* — горизонтальных σ_x; *б* — вертикальных σ_z; *в* — касательных τ_{xz}; *г* — области пластических деформаций и след наиболее вероятной поверхности разрушения (скольжения) в исследуемом грунтовом массиве при $L = 0$

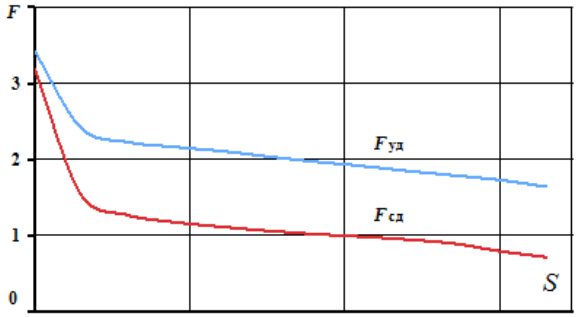


Рис. 3. Эпюры удерживающих и сдвигающих сил, действующих вдоль следа наиболее вероятной поверхности разрушения, при $L = 0$ и $\sigma_{св} = 5$ (см. рис. 2, *г*)

Если говорить строго, то при условии образования в грунтовом массиве областей пластических деформаций задачу о его устойчивости надо решать в упругопластической постановке, например на основе решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта [5—8].

Все вычисления выполнены при величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_o = 0{,}75$, что соответствует его среднему значению для глинистых грунтов [9]. Удельный вес грунта принят равным $\gamma = 2$ т/м^3, угол внутреннего трения изменялся в пределах $\varphi \in [7\ldots30°]$, величина приведенного давления связности $\sigma_{св} \in [2\ldots10]$.

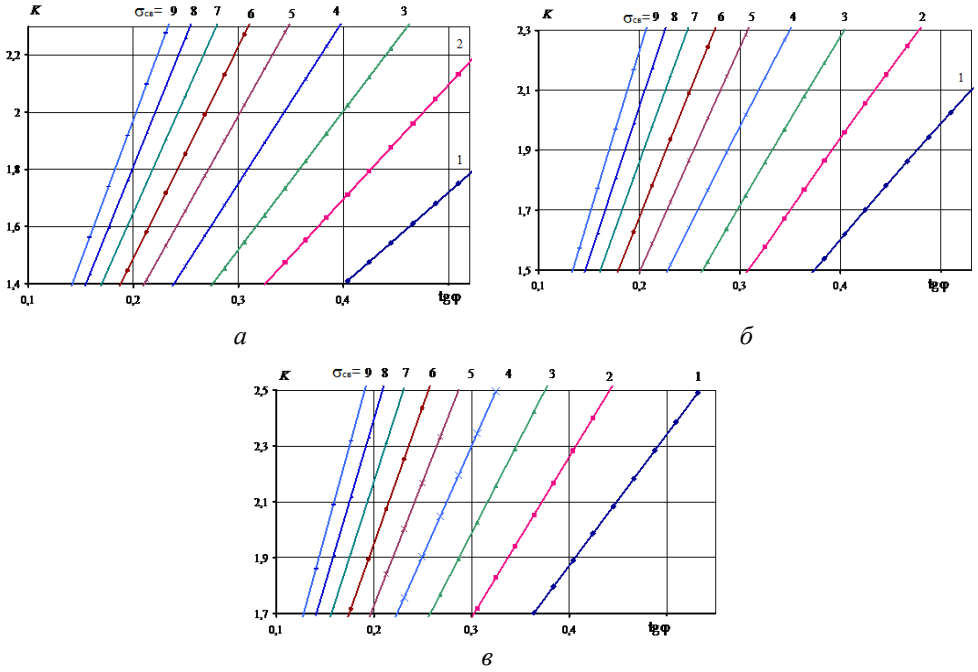


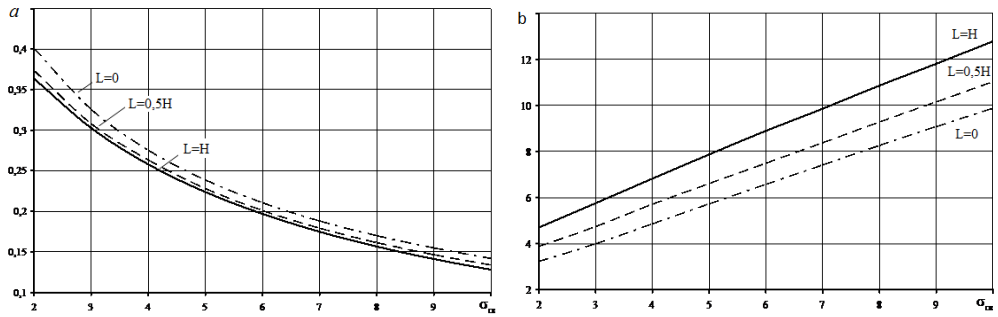
Рис. 4. Графические зависимости вида $K = f(\varphi; \sigma_{св})$ для определения величины коэффициента запаса устойчивости нагруженного борта траншеи при условии отсутствия в грунтовом массиве областей пластических деформаций, определяемых выражениями (1): *а* — при $L = 0$; *б* — при $L = 0{,}5H$; *в* — при $L = H$

На рис. 4 приведены результаты вычислений, которые представляют собой графические зависимости вида $K = f(\varphi; \sigma_{св})$, построенные при трех значениях расстояния от бровки траншеи до начала нагрузки $L = 0$ (рис. 4, *а*), $L = 0{,}5H$ (рис. 4, *б*) и $L = H$ (рис. 4, *в*). Используя эти зависимости, можно определить величину коэффициента запаса устойчивости K нагруженного борта траншеи при условии отсутствия в грунтовом массиве областей пластических деформаций, определяемых выражениями (1). Численные значения величины K для промежуточных значений величин L, φ и $\sigma_{св}$ рекомендуется определять методом линейной интерполяции.

Как видно из рис. 4, все графические зависимости вида $K = f(\varphi; \sigma_{св})$ представляют собой прямые линии, уравнения которых могут быть представлены в виде

$$K = K_o + (\operatorname{tg}\varphi - a)b, \qquad (4)$$

где a и b — безразмерные коэффициенты, определяемые по графикам (рис. 5), а величина K_o равна 1,4; 1,5 и 1,7 при $L = 0$, $L = 0{,}5H$ и $L = H$ соответственно.



а *б*

Рис. 5. Графические зависимости для определения численных значений коэффициентов *a* (*а*) и *b* (*б*), входящих в выражение (4)

Выводы

Если при вычислении величины коэффициента запаса устойчивости K грунтового массива его расчетное значение превышает единицу ($K > 1$), то это не значит, что обеспечена длительная устойчивость последнего. Даже при выполнении условия $K > 1$ в грунтовом массиве могут существовать достаточно большие по размеру области пластических деформаций, которые в зависимости от их размера, геометрии массива и физико-механических свойств грунта рано или поздно приведут к его разрушению. Поэтому при вычислении величины коэффициента запаса нормативными документами предусмотрено введение множества поправочных коэффициентов, каждый из которых больше единицы, для отыскания адекватного значения величины K. При этом теоретическое обоснование численных значений этих коэффициентов зачастую отсутствует. Предлагаемый подход исключает необходимость использования упомянутых выше поправочных коэффициентов.

1. В настоящей работе на основании частного примера показано, как определить величину коэффициента запаса устойчивости грунтового массива, которая обеспечивает отсутствие в массиве областей пластических деформаций, а значит, его длительную устойчивость.

2. Предлагаемый подход позволяет отказаться от использования не всегда обоснованных дополнительных коэффициентов запаса и может быть применен для различных грунтовых массивов (откосов, склонов, оснований фундаментов и т. д.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов А. Н., Нестратов М. Ю., Соловьев А. В.* Новый критерий оценки длительной устойчивости однородных откосов на основе анализа напряженно-деформированного состояния // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2009. Вып. 14(33). С. 5—12.

2. *Coulomb C.* Application des riles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L'architecture // Memories de savants strangers de L'Academlie des sciences de Paris, 1773. 233 p.

3. *Coulomb C.* Essay sure one application des regales des maxims et minims a quelques problems statique relatives, a la architecture // Memo. Acad. Roy. Div. Sav. 1776. Vol. 7. Pp. 34—387.

4. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 от 23 июля 2015 г. МПК G01 N 15/00. FEA / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. В. Редин, А. Н. Ушаков ; Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т» (ВолгГАСУ), 2015.

5. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.

6. *Богомолова О. А.*, *Богомолов А. Н.* Сопоставление результатов физических и численных экспериментов по определению несущей способности однородного основания штампа // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015. № 6. С. 7—11.

7. *Bogomolova O. A., Bogomolov A. N.* Comparison of physical and computational experiment results to determine the load-bearing capability of a uniform plate bed calculation of settlements for a strip foundation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 52. Iss. 6. Pp. 322—328.

8. Зависимость величины предельно допустимой нагрузки от физико-механических свойств однородного основания штампа в условиях смешанной задачи / О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, В. В. Подтелков, А. В. Богдан, Е. М. Либурацков // Construction and geotechnics. 2017. Vol. 8. Iss. 1. Pp. 115—127.

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

© Богомолова О. А., Поздняков А. П., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Богомолова О. А., Поздняков А. П. Способ оценки длительной устойчивости грунтовых массивов на примере нагруженного борта траншеи // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 6—13.

Об авторах:

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

Поздняков Андрей Петрович — канд. физ.-мат. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; pozd74@mail.ru

Oksana A. Bogomolova, Andrey P. Pozdnyakov

Volgograd State Technical University

METHOD FOR ESTIMATION OF LONG-TERM STABILITY OF SOIL MASSIVES ON THE EXAMPLE OF A LOADED TRANCHE BOARD

In the article, on the basis of a well-known criterion, an approach to determining the quantitative indicator of the long-term stability of the side of the trench, which is the value of the safety factor of the stability of the soil massif, is presented. Calculations for determining the stress state of the side of the trench, constructing the most probable fracture surfaces and calculating the values of the stability coefficients were carried out on the basis of the finite element method using a computer program developed with the participation of one of the authors of this article. The calculations were performed for a wide range of physical and mechanical prope rties of the constituent soil with the value of the lateral pressure coefficient $\xi_o = 0{,}75$, which corresponds to its average value for clays. As a result, a simple formula and graphs have been proposed that make it possible to determine the value of the quantitative indicator of the criterion of long-term stability of the side of the trench. It is shown that the proposed approach can be applied to assess the long-term stability of almost any soil mass.

K e y w o r d s: criterion of long-term stability of the soil mass, areas of plastic deformations, safety factor, the most probable surface of destruction, quantitative indicator of long-term stability.

For citation:

Bogomolova O. A., Pozdnyakov A. P. [Method for estimation of long-term stability of soil massives on the example of a loaded tranche board]. *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], 2021, iss. 4, pp. 6—13.

About authors:

Oksana A. Bogomolova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; banzaritcyn@mail.ru

Andrey P. Pozdnyakov — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pozd74@mail.ru

УДК 621.64

А. В. Голиков, Г. Е. Сложенкин

Волгоградский государственный технический университет

ОБЗОР ВИДОВ И АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

В связи с широким распространением в нашей стране объектов нефтегазового комплекса особую актуальность имеет проблема предотвращения коррозии емкостей для хранения, раздачи, отстоя нефти и нефтепродуктов. Вертикальные стальные резервуары являются основным оборудованием, предназначенным для этих целей. По результатам проведенных сторонними авторами исследований, а также по данным натурных наблюдений и контроля технического состояния за вертикальными стальными резервуарами было установлено, что чаще всего коррозия поражает сварные швы. Это объясняется низким качеством применяемых для сварки материалов и сварочных работ. Наиболее подвержены коррозионному износу металлические конструкции нижних поясов стенки, а также внешние окрайки днища, что обусловлено их контактом с подтоварной водой, которая вследствие своего высокого удельного веса выделяется в нижней части столба жидкости в резервуаре. Исследования коррозионного износа металлических конструкций резервуара показали, что дефект одного листа стенка или одной окрайки днища не оказывает существенного влияния на напряженно-деформированное состояние (НДС) резервуара в целом. В случае если коррозионные повреждения распространяются на несколько листов стенки или днища, происходит увеличение напряжений не только в листах с повреждениями, но и в примыкающих элементах. Устойчивость стенки резервуара снижается, когда толщина нескольких листов стенки становится менее 1/10 расчетной толщины. При выявлении коррозионных повреждений несущих элементов резервуаров рекомендуется выполнять анализ влияния повреждений на изменение распределения напряжений в металлоконструкциях с целью прогнозирования их дальнейшего увеличения и оценки безопасного остаточного ресурса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: резервуар, несущие стальные конструкции, коррозия, стенка, днище, пролив, авария, дефекты, повреждения.

Введение

Объект исследования — несущие конструкции стальных вертикальных цилиндрических резервуаров (ВЦР).

Предметом данного исследования являются качественная и количественная оценка видов дефектов и повреждений, явление их развития в несущих конструкциях резервуаров.

Цель исследования заключается в установлении качественных и количественных показателей влияния дефектов и повреждений на напряженно-деформированное состояние несущих реконструкций ВЦР.

Данное исследование выполнено путем обработки многочисленных данных натурных наблюдений и контроля технического состояния ВЦР с дефектами и повреждениями.

Методы, применяемые в данном исследовании: систематизация и анализ данных натурных наблюдений и контроля технического состояния, численные исследования изменения НДС несущих конструкций при развитии дефектов и повреждений.

Научная новизна исследования по выбранной тематике заключается в установлении характерных особенностей явления распределения напряжений в несущих конструкциях ВЦР при развитии дефектов и повреждений.

Практическая значимость состоит в разработке рекомендаций и мероприятий, позволяющих предотвратить причины возникновения коррозии резервуаров.

В условиях высокого уровня развития нефтегазовой отрасли в нашей стране стальные резервуары используются на всех установках по подготовке, переработке, перекачке нефти и газа. Резервуары применяются для хранения нефти и нефтепродуктов, сжиженного природного газа, пластовой воды, выделяемой из нефти, воды и растворов для системы пожаротушения, реагентов, применяемых в технологическом процессе подготовки нефти. Надежность и безопасность эксплуатации резервуаров оказывает влияние на безопасность всего технологического процесса и всей технологической установки в целом. Это связано с тем, что в подавляющем большинстве случаев сырьем для резервуаров являются взрывопожароопасные вещества. Нарушение целостности металлоконструкций резервуара может привести к выбросу газовоздушной смеси, последующему ее воспламенению и взрыву. Кроме того, разгерметизация резервуара приводит к выходу в окружающую среду продукта, который затем впитывается в грунт, проходит через него и поступает в подземные воды, загрязняя почвенный покров, недра и подземные водоносные горизонты. В связи с этим весьма актуальной является проблема исследования видов дефектов стальных резервуаров и причин, их вызывающих.

Основная часть

В настоящее время в период развития в нашей стране нефтегазовой отрасли практически на всех крупных нефтегазовых объектах, где производится сбор, хранение или переработка нефти и нефтепродуктов, используются вертикальные стальные резервуары. Они являются основным оборудованием для хранения больших объемов легковоспламеняющихся веществ с любыми свойствами и в течение длительного периода времени.

В связи с тем что продукт, который находится внутри резервуаров, взрывопожароопасен, обладает коррозионной активностью, а также опасен для окружающей среды, при проектировании и строительстве резервуаров необходимо предусматривать мероприятия, которые позволят сохранить целостность металлоконструкций и других конструктивных элементов.

При проектировании вертикальных цилиндрических стальных резервуаров применяется комплекс мероприятий, предотвращающих их разрушение при различных условиях эксплуатации. К таким мероприятиям относятся:

- защита от коррозии с применением антикоррозионных покрытий;
- использование коррозионностойких сталей;
- расчет металлоконструкций на прочность и устойчивость;
- расчет безопасного ресурса.

Практика осмотров и оценки технического состояния резервуаров показывает, что указанные мероприятия не всегда бывают достаточны для обеспечения целостности конструкции. Часть реализовавшихся повреждений резервуаров может быть незначительной и не влияет на их целостность. В ряде случаев, при достижении предельного срока эксплуатации происходит образование дефектов, которые нарушают герметичность резервуара, ведут к поступлению продукта в окружающую среду, к выходу газовоздушной смеси в атмосферу и образованию взрывоопасного облака.

На рис. 1 приведены виды дефектов и коррозионных нарушений стальных резервуаров, наиболее часто встречающихся в практике.

а *б* *в*

Рис. 1. Виды повреждений стальных резервуаров: *а* — коррозионные повреждения уторного узла; *б* — вмятины и выпучивания в стенке резервуара; *в* — хрупкие трещины в стенке резервуара по сварному шву

По результатам исследований и регистрации наиболее распространенных дефектов резервуаров можно предложить их классификацию по месту их проявления (рис. 2).

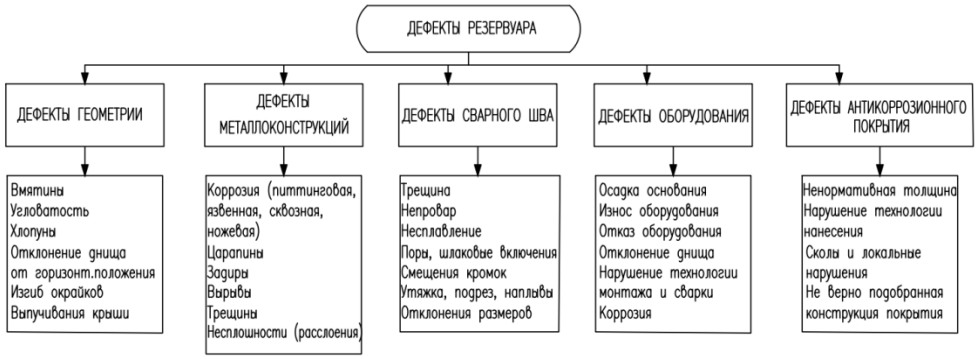


Рис. 2. Классификация дефектов резервуаров

По результатам исследований, представленных в [1], в резервуарах, предназначенных для хранения и отстоя пластовых вод, в донной зоне резервуара наблюдалось развитие локальной коррозии, которая была выражена в виде мелких питтингов, имеющих глубину 15…49 мкм.

В [2] были исследованы количество и виды дефектов и нарушений, которые имеют место для вертикальных и горизонтальных стальных резервуаров. В период с 2014 по 2015 г. было проведено обследование шести вертикальных стальных и 28 горизонтальных стальных резервуаров. Распределение видов дефектов, согласно [2], приведено на рис. 3, который представлен как диаграмма Парето. На ней показано распределение данных в порядке снижения их частоты. Красная линия — это линия совокупных значений на дополнительной оси, которая отображает процент от итоговой суммы. Линия совокупных значений описывается квадратичным полиномом:

$$y = 0{,}059x^2 + 1{,}31x + 27{,}36. \quad (1)$$

Не рассматривая дефекты вспомогательных сооружений и отклонение формы, можно заключить, что наиболее распространенным дефектом является нарушение антикоррозионного и лакокрасочного покрытий. Их целостность обеспечивает защиту от атмосферной коррозии и позволяет предотвратить коррозию металлоконструкций.

В [3] приведены исследования 512 стальных резервуаров, объем которых составлял 3…200 м^3. Распределение идентифицированных дефектов приведено на рис. 4, из которого видно, что наиболее распространенными являются трещины в основном металле стенки в тех местах, где приварены кольца жесткости и диафрагмы, а также в месте в стенке, где перекрещиваются между собой кольцевые швы, а также трещины и непровары корня шва в местах соединения листов стенки с днищем.

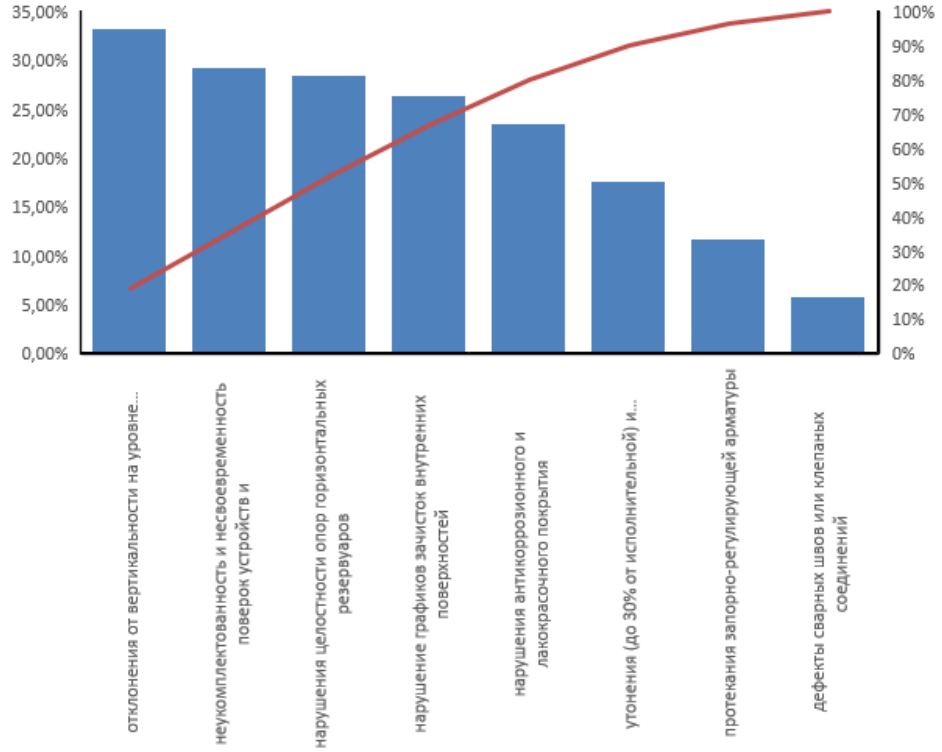


Рис. 3. Распределение дефектов и повреждений в резервуарах по результатам обработки данных исследования [2]

Анализ имеющихся в доступных источниках данных о повреждаемости резервуаров свидетельствует о том, что наибольшее количество дефектов наблюдается, согласно [3], в сварных швах металлоконструкций резервуаров.

Как видно из рис. 4, наиболее распространенными для исследованных 512 резервуаров являются дефекты нижней части днища. Причиной заключается в наличии наиболее коррозионно опасных компонентов, которые, как правило, содержатся в пластовой воде. В результате гравитационного отстоя

в нижней части резервуара выделяется слой пластовой воды, удельный вес которой больше, чем у нефти и нефтепродуктов. В ней содержатся компоненты, наиболее агрессивные к металлическим конструкциям резервуара, которые включают соли кальция и магния.

Рис. 4. Распределение дефектов в стальных резервуарах объемом 3…200 м^3 по результатам систематизации данных исследования [3]

Таким образом, по результатам исследований [2] и [3] (см. графики на рис. 3 и 4) можно заключить, что вначале нарушается антикоррозионное защитное покрытие резервуаров, а затем происходит процесс коррозии вследствие контакта поверхности металла как с атмосферой, так и с агрессивным продуктом.

По результатам исследований [4] было установлено, что причиной коррозии резервуаров в северных регионах страны является хрупкое разрушение несущих конструкций, вызванное воздействием низких температур. Это объясняется тем, что в 70—80-х гг. XX в. резервуары возводились из сталей, не предназначенных для эксплуатации в условиях низких температур. В условиях Крайнего Севера сочетания низких температур и протяженных плоскостных дефектов в несущих металлоконструкциях повышают вероятность хрупкого разрушения.

Также в [5] отмечено, что наибольшую опасность при эксплуатации резервуаров в условиях низких температур, например на территории Якутии, вызывает глубокая язвенная коррозия, которая возникает в металле уторного узла и первого пояса стенки. С внутренней стороны стенки на этих же участках возникает ножевая коррозия, возникающая в узкой локальной зоне на границе швов.

Наиболее надежным способом защиты от коррозии резервуаров является использование нержавеющих сталей. Такой способ применяют при хранении в резервуарах нефти с высоким содержанием сероводорода либо при длительном хранении пластовых вод. Однако, как показывает опыт использования нержавеющих сталей, для них также может наблюдаться коррозия. Причины коррозии резервуаров из нержавеющей стали могут быть следующими:

- контакт листа из нержавеющей стали с металлическими конструкциями из низколегированных сталей;
- механическое повреждение стальных конструкций;
- попадание на металл сварочных материалов;
- высокая температура продукта, которая запускает процесс межкристаллитной коррозии;
- абразивные растворы, которые осуществляют вымывание оксидной пленки, находящейся на поверхности стального листа со скоростью большей, чем образуется новая защитная пленка.

По результатам анализа имеющихся данных о повреждаемости резервуаров можно заключить, что при эксплуатации резервуаров имеет место коррозия его конструктивных элементов, на которую оказывают влияние различные внешние факторы: отступления от требований проекта и нормативных документов в части изготовления конструкции; несоответствие противокоррозионных покрытий, выбранных на стадии проектирования, фактическим условиям эксплуатации; несвоевременные планово-предупредительные ремонты.

На примере резервуара высотой h = 30,0 м и диаметром d = 40 м выполнена численная оценка воздействия на прочность резервуара коррозионных нарушений металлических конструкций. В качестве исходных данных было принято, что в резервуаре находится нефть с плотностью 825 кг/м^3. Толщина листов днища резервуара t_d = 30 мм, толщина листов стенки t_c = 15 мм. К днищу приложена постоянная распределенная нагрузка от веса продукта, к стенке резервуара — кратковременная нагрузка.

Для оценки воздействия на несущую способность резервуара коррозионных повреждений выполнено моделирование несколько расчетных случаев:

1) резервуар без дефектов (рис. 5);

2) резервуар со снижением толщины стенки в нижнем поясе для двух листов на 80 %;

3) резервуар со снижением толщины стенки по всему нижнему поясу на 80 %;

4) резервуар со снижением толщины стенки днища на 90 % в двух внешних рядах боковых окраек.

При численном моделировании оболочки резервуаров выполнена дискретизация расчетной модели с целью определения необходимой величины сгущения сетки конечных элементов, что является обязательной процедурой при выполнении численных расчетов и альтернативным методом верификации результатов расчетов на физических моделях [6]. Примеры сгущения сетки конечных элементов при работе оболочек листовых конструкций в зоне краевого эффекта описаны в работе М. С. Кучиной [7].

Следует отметить, что работа стенки и днища резервуара существенно отличается. Стенка совмещает несущие и ограждающие функции, днище в удалении от краевой зоны по большей части выполняет ограждающие функции и при некорректном закреплении подвержено значительным прогибам. Работа оболочек с большими прогибами раскрыта в работе А. В. Старова [8]. НДС подкрепленных пластина описана в работе Д. И. Субботина [9].

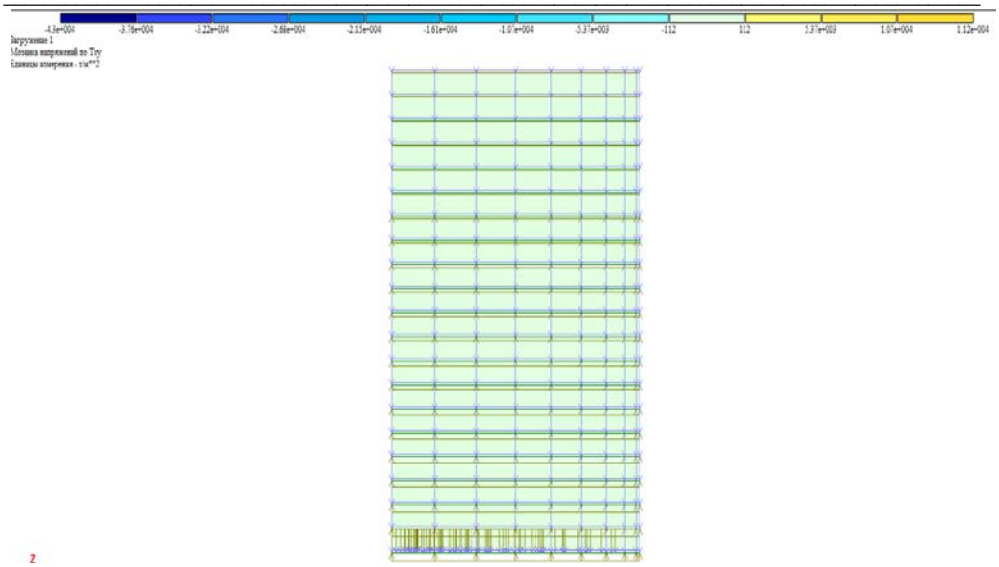


Рис. 5. Изополя распределения касательных напряжений в стенке (резервуар с толщиной стенки 30 мм) τ_{xy}

Показанные на рис. 5 изополя распределения касательных напряжений в плоскости *XY* в стенке резервуара, которая имеет толщину 30 мм, свидетельствуют о том, что касательные напряжения не превышают допустимых (зеленая заливка участков стенки).

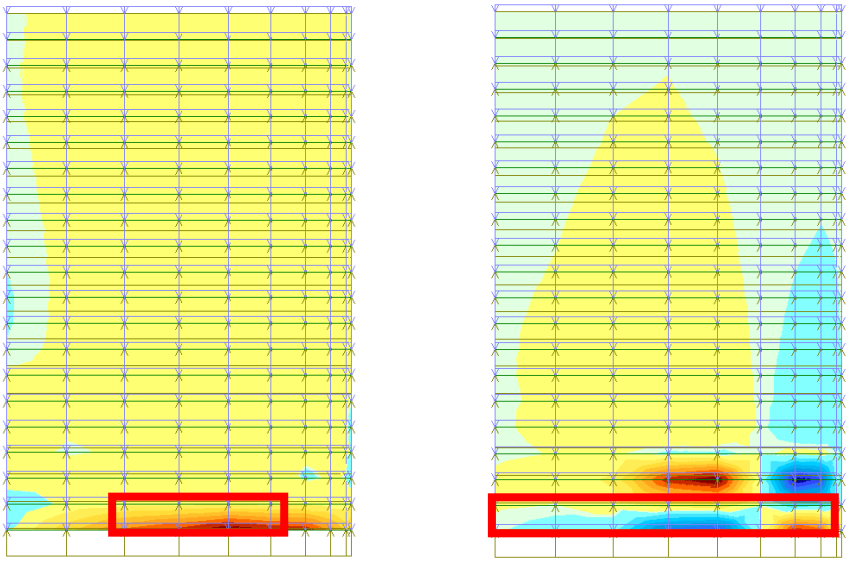
На рис. 6 показаны изополя распределения касательных напряжений в плоскости *XY* для листов стенки, которые поражены коррозией. На рис. 6, *а* приведен участок модели, в которой учтено поражение коррозией трех листов нижнего пояса стенки, с остаточной толщиной металла 3 мм. На рис. 6, *б* приведены касательные напряжения в плоскости *XY* при поражении коррозией всего нижнего пояса стенки с остаточной толщиной металла 3 мм. Красным контуром на чертеже показаны участки стенки с повреждениями.

Из рис. 6 видно, что в стенке резервуара возникают недопустимые касательные напряжения (локальные участки с темной заливкой), как положительного (темно-красные), так и отрицательного (темно-синие) направления. При этом от поврежденных листов стенки касательные напряжения распространяются на соседние пояса и достигают критических значений.

При значениях толщины стенки менее 3,0 мм напряжения становятся недопустимыми, и происходит потеря устойчивости стенки резервуара.

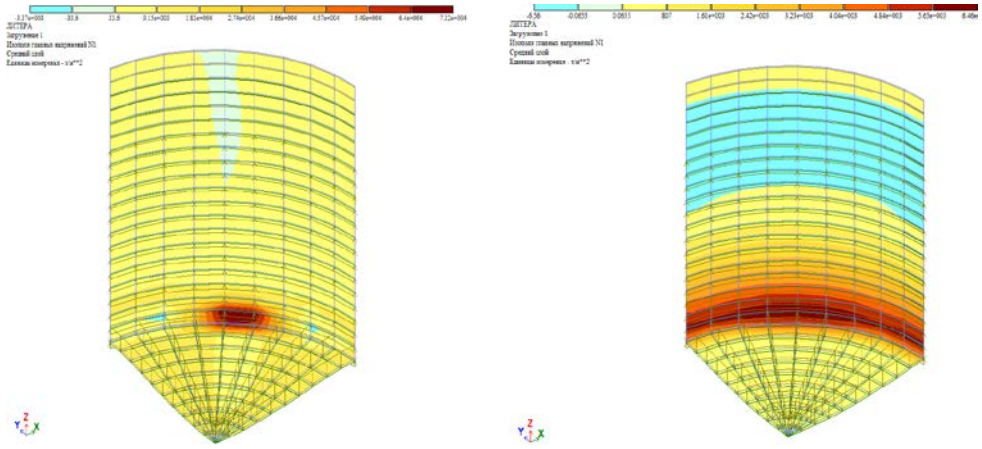
На рис. 7—10 приведены изополя главных и эквивалентных напряжений в различных плоскостях, возникающие в стенке резервуара, при повреждениях стенки в трех листах нижнего пояса и при повреждениях всех листов нижнего пояса стенки.

Из рисунков видно, что главные и эквивалентные напряжения концентрируются в местах расположения повреждений, при этом действие их начинает распространяться и на днище резервуара. Напряжения характеризуются возрастанием во всех листах нижнего пояса стенки в связи его повсеместной коррозией.



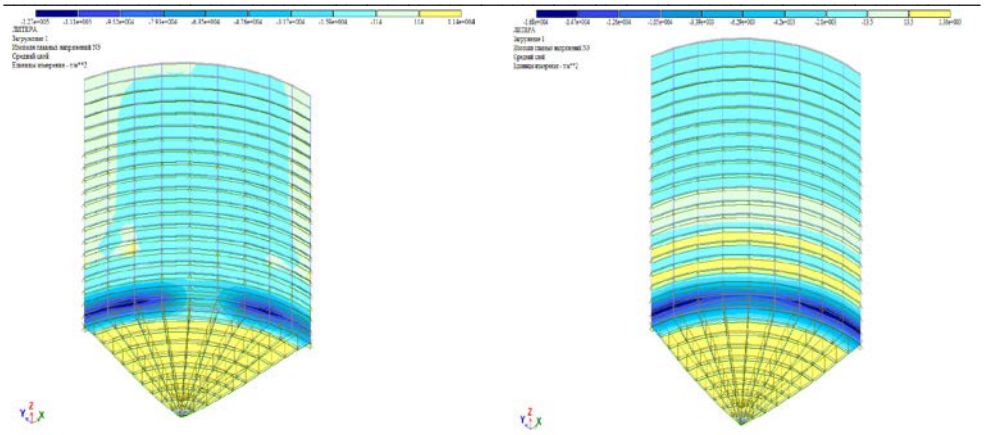
а *б*

Рис. 6. Изополя касательных напряжений стенки τ_{xy} на поврежденных участках с толщиной металла 3,0 мм (модель резервуара с толщиной стенки 30 мм): *а* — касательные напряжения в стенке резервуара в плоскости *XY* с толщиной стенки 3 мм для трех листов нижнего пояса стенки; *б* — касательные напряжения в стенке резервуара в плоскости *XY* с толщиной стенки 3 мм для всех листов нижнего пояса стенки



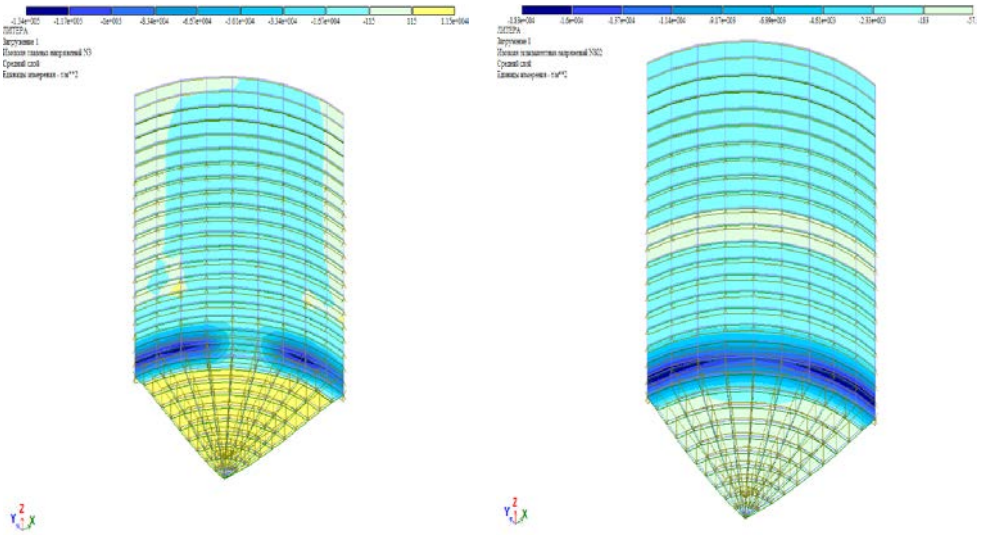
а *б*

Рис. 7. Изополя распределения главных и касательных напряжений стенки N_1 на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм (резервуар с толщиной стенки 30 мм): *а* — главные и эквивалентные напряжения N_1 в стенке резервуара при повреждениях с толщиной стенки 3 мм для трех листов нижнего пояса стенки; *б* — главные и эквивалентные напряжения N_1 в стенке резервуара при повреждениях с толщиной стенки 3 мм для всех листов нижнего пояса стенки



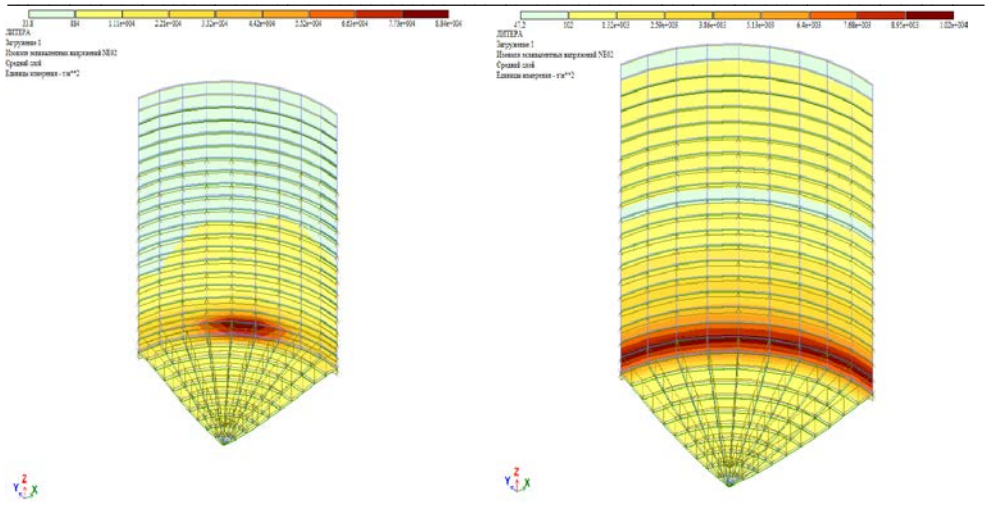
а *б*

Рис. 8. Изополя распределения главных и касательных напряжений стенки N_3 на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм (резервуар с толщиной стенки 30 мм): *а* — главные и эквивалентные напряжения N_3 в стенке резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для трех листов нижнего пояса стенки; *б* — главные и эквивалентные напряжения N_3 в стенке резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для всех листов нижнего пояса стенки



а *б*

Рис. 9. Изополя распределения главных и касательных напряжений стенки N_S на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм (резервуар с толщиной стенки 30 мм): *а* — главные и эквивалентные напряжения N_S в стенке резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для трех листов нижнего пояса стенки; *б* — главные и эквивалентные напряжения N_S в стенке резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для всех листов нижнего пояса стенки

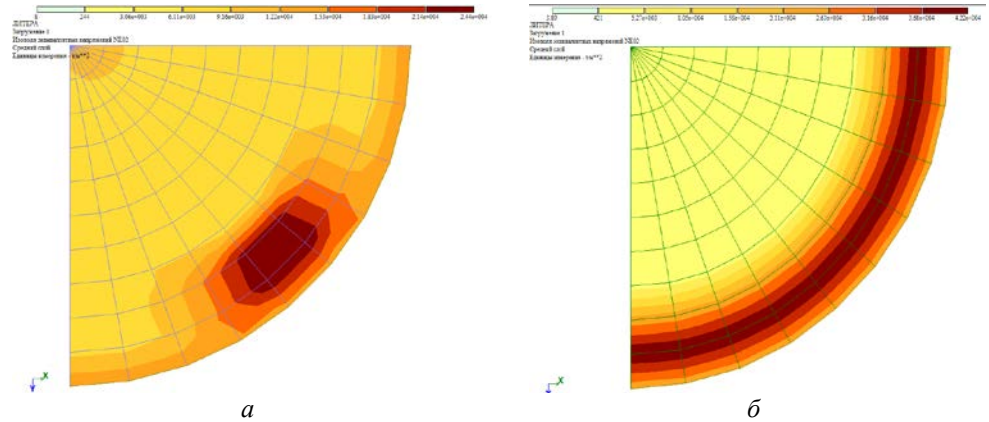


а *б*

Рис. 10. Изополя распределения главных и касательных напряжений стенки *NE* на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм (резервуар с толщиной стенки 30 мм): *а* — главные и эквивалентные напряжения *NE* в стенке резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для трех листов нижнего пояса стенки; *б* — главные и эквивалентные напряжения *NE* в стенке резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для всех листов нижнего пояса стенки

Аналогично была рассмотрена повреждаемость днища резервуара, которая заключалась в снижении толщины листов днища резервуара на 90 %.

На рис. 11 приведены изополя касательных напряжений *NE* в днище с учетом двух описанных выше вариантов коррозии и толщины листов днища, равной 30 мм.

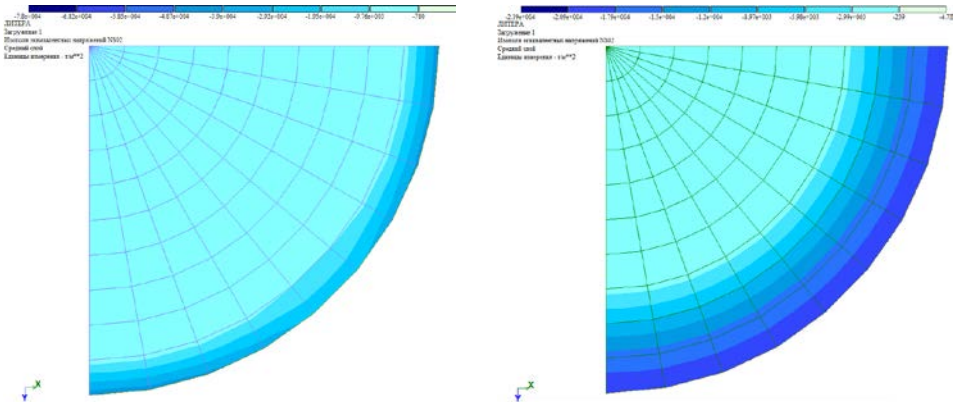


а *б*

Рис. 11. Изополя распределения главных и эквивалентных напряжений днища *NE* на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм: *а* — главные и эквивалентные напряжения *NE* в днище резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для трех листов второго пояса окраек днища; *б* — главные и эквивалентные напряжения *NE* в днище резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для всех листов первого и второго поясов окраек днища

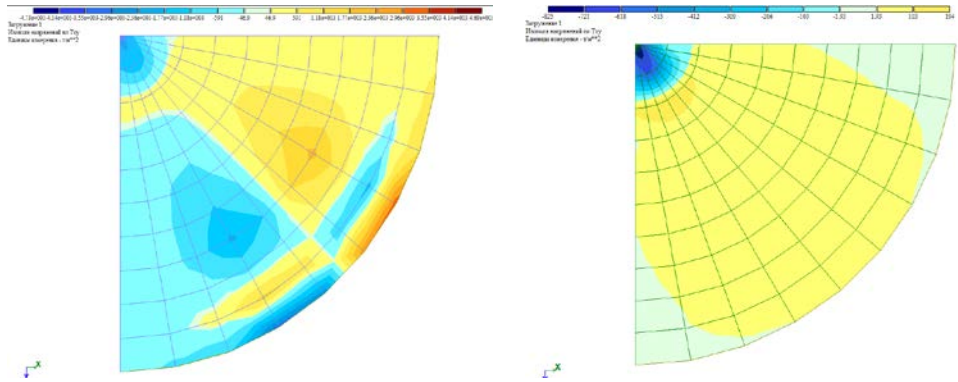
Из рис. 11 видно, что критические напряжения присутствуют по внешнему контуру днища. Следовательно, толщина листов днища для внешних окраек недостаточна и требует увеличения. На рис. 12 приведены изополя эквивалентных напряжений *NO* в днище с учетом коррозии листов внешнего и второго рядов до толщины металлических листов, равной 3,0 мм.

На рис. 13 приведены изополя касательных напряжений τ_{xy} в днище резервуара в плоскости *XY* с учетом коррозии трех листов внешнего ряда до толщины металлических листов, равной 3,0 мм.



а *б*

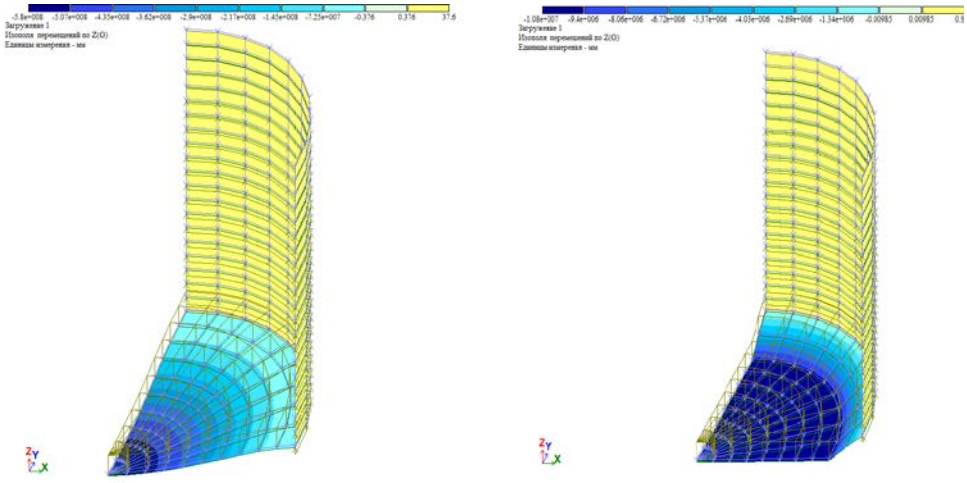
Рис. 12. Изополя распределения главных и эквивалентных напряжений стенки *NS* на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм: *а* — главные и эквивалентные напряжения *NS* в днище резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для трех листов второго пояса окраек днища; *б* — главные и эквивалентные напряжения *NS* в днище резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для всех листов первого и второго поясов окраек днища



а *б*

Рис. 13. Изополя распределения касательных напряжений днища τ_{xy} на дефектных участках с толщиной металла 3,0 мм: *а* — касательные напряжения τ_{xy} в днище резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для трех листов второго пояса окраек днища; *б* — касательные напряжения τ_{xy} в днище резервуара при дефектах с толщиной стенки 3 мм для всех листов первого и второго поясов окраек днища

На рис. 14 приведено сравнение перемещений по вертикальной оси *Z* для двух случаев коррозии днища.



а *б*

Рис. 14. Изополя перемещений в направлении оси *Z*: *а* — при коррозии трех листов внешнего рядов до толщины металлических листов, равной 3,0 мм; *б* — при коррозии листов внешнего и второго рядов до толщины металлических листов, равной 3,0 мм

По результатам изучения изополей при различной степени коррозии днища резервуара можно заключить, что вертикальные перемещения днища возрастают вследствие коррозии двух внешних рядов окраек. Увеличение площади коррозии днища ведет к увеличению его прогиба.

В завершение отметим, что исследование в области оценки влияния коррозионных повреждений на работу листовых конструкций, в частности несущих оболочек резервуаров с коррозионными повреждениями, является актуальной задачей. Для обеспечения повышения надежности и безаварийной работы конструкций резервуаров исследования в данной области непрерывно ведутся в ряде научных школ и в работах отдельных авторов [10—19].

Выводы

1. На основании проведенных исследований можно заключить, что наиболее распространенным повреждением резервуаров является повреждение антикоррозионного покрытия, которое в процессе эксплуатации приводит к развитию дефектов несущих металлических конструкций резервуаров. Помимо повреждений антикоррозионного покрытия, на снижение работоспособности конструкций влияет ряд внешних факторов, таких как нарушение технологии монтажа, использование сталей различных марок, которые не следует применять совместно, климатические особенности региона, а также агрессивное влияние свойства хранимого продукта на коррозионную долговечность несущих конструкций резервуаров.

2. Учет совместного влияния указанных выше факторов в процессе разработки проекта резервуара позволит корректно подобрать металл для элементов резервуара, разработать эффективное антикоррозионное покрытие, выбрать необходимое технологическое оборудование, корректно принять тип фундамента, способный обеспечить равномерные деформации при работе

сооружения в конкретных инженерно-геологических условиях площадки строительства. Учет всех факторов, оказывающих влияние на появление и развитие повреждений, дает возможность повысить надежность резервуара и обеспечить безопасность его эксплуатации.

3. По результатам моделирования резервуаров с повреждениями можно заключить, что локальные нарушения толщины стальных листов днища и стенки резервуара не приводят к развитию критических напряжений в примыкающих участках резервуара.

4. Наиболее критичными являются многочисленные следы коррозии в стенке резервуара, реализующиеся на обширной площади, так как вызывают напряжения, распространяющиеся не только по всей стенке, но и по днищу. По ряду показателей наиболее опасными являются коррозионные повреждения листов нижнего пояса стенки. Бесконтрольное развитие повреждений указанного выше характера в процессе дельнейшей эксплуатации может привести к отказу резервуара.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Быстрова О. Н.* Локальная коррозия углеродистой стали в резервуарах для очистки сточных нефтепромысловых вод // Вестн. технол. ун-та. 2016. Т. 19. № 4. С. 43—46.

2. *Петренко В. И., Гродинский О. М.* Повреждения и дефекты, возникающие в процессе эксплуатации резервуаров для нефтепродуктов. Меры по их предупреждению // Евразийский науч. журн. 2015. № 11.

3. *Кожинов М. И., Кримчеева Г. Г.* Анализ повреждений горизонтальных стальных резервуаров для нефтепродуктов // Нефтегазовое дело. 2012. № 4. С. 206—212.

4. *Андреев Я. М.* Обеспечение эксплуатационной надежности резервуаров Севера путем повышения выявляемости плоскостных дефектов : дис. … канд. техн. наук. Якутск, 2017. 129 с.

5. *Николаева М. В., Атласов Р. А.* Особенности коррозии резервуаров на Крайнем Севере // Нефтегазовое дело. 2018. № 6. С. 31—41.

6. Верификация численной модели цилиндрической оболочки с наполнителем / А. И. Мамонтов, Н. Я. Цимбельман, Е. В. Квон, Т. И. Чернова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 154—161.

7. *Голиков А. В., Кучина М. С., Гаранжа И. М.* Совершенствование конструктивной формы узла опирания ствола стальной дымовой трубы на поддерживающую конструкцию // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 4—17.

8. *Старов А. В.* Область применимости теории больших прогибов идеально пластических круглых пластинок и пологих оболочек вращения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 126—132.

9. *Голиков А. В., Субботин Д. И., Куранов Д. В.* Оценка достоверности расчетных моделей несущего каркаса трубчатых печей // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 3(80). С. 18—33.

10. Study of corrosion of oil tank parts and gas-phase space in different tanks. Published on behalf of the AIChE / Y. Lu, Z. Wang, Z. Dou, Y. Zhen, F. Jiang // Process Safety Progress. 2018. Vol. 37. No. 3. URL: https://doi.org/10.1002/prs.11958.

11. *Feng Y., Yang Y., Huang B.* Corrosion analysis and remaining useful life prediction for storage tank bottom // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2019. Vol. 16. Iss. 5. URL: https://doi.org/10.1177/1729881419877051.

12. *Merwe R., Cornish L. A., Merwe J. W*. Corrosion characteristics of mild steel storage tanks in fluorine-containing acid // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016. Vol. 116. No. 10. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n10a5.

13. *Komariah1 L. N., Dewi1 T K., Ramayanti C.* Published study on corrosion behavior of storage tanks filled with biodiesel and the blends // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 543. DOI: 10.1088/1757-899X/543/1/012033.

14. Corrosion Durability Estimation for Steel Shell of a Tank Used to Store Liquid Fuels / M. Maslak, M. Pazdanowsk, J. Siudut, K. Tarsac // Procedia Engineering. 2017. Vol. 172. Pp. 723—730. URL: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.092.

15. *Godoy L. A.* Buckling of vertical oil storage steel tanks: review of static buckling studies // Thin-Walled Structures. 2016. Vol. 103. Iss. 1. URL: https://doi.org/10.1016/j.tws.2016.01.026.

16. *D'Orazio T. B., Duncan J. M.* Differential Settlements in Steel Tanks // ASCE. 2016. Vol. 113. Iss. 9. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1987)113:9(967).

17. Structure of information model of steel tanks / V. G. Mokrozub, K. D. Manuilov, V. V. Gorshkov, T. S. Gorshkova // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 51. Pp. 613—618. DOI: 10.1007/s10556-016-0095-7.

18. *Sultanbekov R. R., Terekhin R. D., Nazarova M. N.* Effect of temperature fields and bottom sediments of oil products on the stress-strain state of the design of a vertical steel tank // Journal of Physics: Conference Series. 1431 (2020) 012055. doi:10.1088/1742-6596/1431/1/012055.

19. Microwave sensor array for corrosion prediction in steel tank bottoms / S. Deif, B. Leier, M. Snow, M. Daneshmand // ASME. 2018. URL: https://doi.org/10.1115/IPC2018-78224.

© Голиков А. В., Сложенкин Г. Е., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Голиков А. В., Сложенкин Г. Е. Обзор видов и анализ причин развития дефектов и повреждений в несущих конструкциях стальных резервуаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 14—28.

Об авторах:

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

Сложенкин Глеб Евгеньевич — магистрант каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; slozhenkin-gleb@mail.ru

Alexander V. Golikov, Gleb E. Slozhenkin

Volgograd State Technical University

OVERVIEW OF TYPES AND ANALYSIS OF THE CAUSES OF DEFECTS AND DAMAGES IN THE BEARING STRUCTURES OF STEEL TANKS

Due to the widespread use of oil and gas facilities in our country, the problem of preventing corrosion of tanks for storing, distributing, settling oil and oil products is of high urgency. Vertical steel tanks are the main equipment for this purpose. According to the results of studies carried out by third-party authors, as well as according to field observations and control of the technical condition of vertical steel tanks, it was found that most often corrosion affects welded seams. This is due to the low quality of the materials used for welding and welding work. The metal structures of the lower wall chords, as well as the outer edges of the bottom, are most susceptible to corrosive wear, which is due to their contact with bottom water, which, due to its high specific gravity, is released in the lower part of the liquid column in the tank Studies of corrosive wear of metal structures of the tank showed that a defect in one sheet of the wall or one edge of the bottom does not have a significant effect on the stress-strain state (SSS) of the tank as a whole. If the corrosion damage spreads over several sheets of the wall or bottom, there is an increase in stresses not only in the sheets with damage, but also in the adjoining elements. The stability of the tank wall decreases when the thickness of several wall sheets becomes less than 1/10 of the design thickness. When detecting corrosion damage to the load-bearing elements of tanks, it is recommended to analyze the effect of damage on the change in

the distribution of stresses in metal structures in order to predict their further increase and assess the safe residual life.

K e y w o r d s: tank, supporting steel structures, corrosion, wall, bottom, spillage, accident, defects, damage.

For citation:

Golikov A. V., Slozhenkin G. E. [Overview of types and analysis of the causes of defects and damages in the bearing structures of steel tanks]. *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], 2021, iss. 4, pp. 14—28.

About authors:

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

Gleb E. Slozhenkin — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; slozhenkin-gleb@mail.ru

УДК 691:692.23

С. В. Корниенко, О. Г. Чеснокова, В. Д. Чеснокова, М. Д. Журбенко

Волгоградский государственный технический университет

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕНОСА В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДЕНИЯХ

Выполнено динамическое моделирование процесса взаимосвязанного тепловлагопереноса в трехслойной кирпичной стене с эффективным утеплителем «Эковата» по компьютерной программе WUFI®. Показано, что расчетные теплотехнические характеристики принятого конструктивного решения наружной стены обеспечивают требования благоприятных санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях с учетом энергосбережения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: здание, ограждающая конструкция, теплоперенос, влагоперенос, теплофизические свойства строительных материалов, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, энергосбережение.

Введение

В зонах холодного и умеренного климата повышенная герметичность теплозащитной оболочки здания, а также размещение плотных паронепроницаемых строительных материалов снаружи ограждающих конструкций часто вызывают серьезные проблемы, связанные с влажностью [1—3]. Чрезмерное повышение влажности приводит к росту плесневых грибов на внутренней поверхности и в толще ограждений [4—6]. Длительное воздействие высокой влажности также может привести к повреждению ограждающих конструкций и существенно ухудшить здоровье людей, находящихся в помещениях [7, 8]. Процессы тепло- и массообмена в помещениях и ограждениях взаимосвязаны. Известно, что увеличение влажности строительных материалов приводит к росту тепловых потерь, а температурные условия в элементах ограждений заметно влияют на перенос влаги [9, 10].

Традиционным методом оценки влажностного режима ограждающей конструкции является метод Глейзера. Это метод, подробно описанный в международном стандарте DIN 4108, основан на определении баланса влаги в ограждении по механизму паропроницаемости [11]. По результатам расчета устанавливается необходимость размещения дополнительного пароизоляционного слоя [12]. Однако данный метод не учитывает капиллярный перенос влаги и сорбционные свойства материалов. Кроме того, поскольку метод Глейзера позволяет рассчитать только стационарный влагоперенос при упрощенных граничных условиях, он не может точно оценить краткосрочные изменения погоды, связанные, например, с воздействием косых дождей или прямым солнечным излучением, а также начальную влажность материалов конструкции. Следовательно, метод Глейзера может дать лишь общую приближенную оценку влажностного режима ограждений [11].

Более точным является численный метод, основанный на модели взаимосвязанного тепло- и влагопереноса (HAMT) в материалах ограждающих конструкций [13]. В этом методе учитывается диффузионный перенос водяного пара и капиллярный перенос жидкой фазы влаги. Метод учитывает

одномерный влагоперенос. При определении объемной теплоемкости учитывается влагосодержание материала. Влагосодержание материала и его паропроницаемость зависят от относительной влажности воздуха в порах материала. Теплопроводность и коэффициент диффузии жидкой влаги также являются параметрами, зависящими от влагосодержания материала. Пористость материала используется для вычисления максимальной влажности на изотерме сорбции. Граничные условия учитывают воздействия на наружную поверхность конструкции косых дождей и солнечного излучения. Начальные условия позволяют задать влажность материалов, соответствующую моменту ввода конструкции в эксплуатацию.

Метод НАМТ реализован в компьютерной программе семейства WUFI®, которая дает более полную и точную оценку процессов тепло- и влагопереноса, протекающих как в отдельных конструкциях, так и в здании в целом [14—17]. Для расчета по программе используют следующие исходные данные: расчетная схема конструкции, теплофизические свойства строительных материалов, характеристики наружного климата и микроклимата помещений, краевые условия.

Результаты расчетов представляются в виде диаграмм, которые показывают колебания температуры и влажности на поверхностях и в толще конструкции в течение исследуемого расчетного периода. Итоговые значения также могут быть представлены в формате видеоролика, в котором наглядно показано решение нестационарных задач.

Многослойная конструкция задается послойно, с указанием толщины каждого материального слоя. Сведения о теплофизических свойствах материалов, необходимые для расчета, содержатся в базе данных программы. Есть возможность добавлять новые материалы, задав их характеристики вручную, или корректировать уже имеющиеся. Климатические характеристики встроены в программу. Также в программе имеется возможность подгрузить данные о климате региона, отсутствующего в базе данных. Недостатком программы для российского проектировщика является отсутствие в ней данных по климату населенных пунктов РФ.

Целью исследования является динамическое моделирование процесса взаимосвязанного тепловлагопереноса в трехслойной кирпичной стене с эффективным утеплителем по компьютерной программе WUFI®, в условиях умеренно-континентального климата России (на примере г. Волгограда).

Основная часть

Материалы и методы. В рассматриваемом конструктивном решении стены используется теплозвукоизоляционный материал «Эковата» — перспективный биопозитивный материал для утепления и звукоизоляции различных типов ограждающих конструкций вновь строящихся, реконструируемых и капитально ремонтируемых зданий. Это материал, состоящий на 80 % из вторичной целлюлозы (переработанной газетной макулатуры), с добавками антисептика и антипиренов. В волокнах материала находится лигнин, который при увлажнении материала связывает волокна. Увлажнение материала конденсационной влагой в конструкции опасно.

Согласно требованиям СТО 67386386-002—2011 «Организация и проведение работ по утеплению ограждающих конструкций зданий теплозвукоизоляционным материалом „Эковата“», утеплитель может наноситься двумя

способами: «сухим» — с задувкой или нагнетанием материала в утепляемые конструкции; «влажным» — с одновременным увлажнением и напылением утеплителя на поверхность строительных конструкций. Выбор метода нанесения утеплителя зависит от конструктивного решения теплоизолируемых ограждений, их положения в пространстве (вертикальные, наклонные или горизонтальные), объема работ, типа и наличия механизированных установок, климатических условий проведения работ. В частности, метод сухого нанесения рекомендуется для теплоизоляции многослойных наружных стен с гибкими или жесткими связями и внутренними полостями, межэтажных и чердачных перекрытий, вертикальных или наклонных каркасных конструкций, метод влажного нанесения — для наружных стен с фасадными системами теплоизоляции, чердачных перекрытий при температурах наружного воздуха не ниже +5 °С.

В табл. приведено сравнение теплофизических свойств «Эковаты» по методу сухого и влажного нанесения.

Теплофизические свойства «Эковаты» (СТО 67386386-002-2011)

Показатель	Значение		Отклонение, %
	Сухое нанесение	Влажное нанесение	
Плотность в сухом состоянии, кг/м^3	40	80	+100
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м · К), при температуре 25 °С	0,04	0,046	+15
Сорбционная влажность, %, соответствующая:			
условиям эксплуатации А	15	10	–33,3
условиям эксплуатации Б	20	20	0
Теплопроводность, Вт/(м · К), при сорбционной влажности, соответствующей:			
условиям эксплуатации А	0,042	0,065	+54,8
условиям эксплуатации Б	0,052	0,09	+73,1
Воздухопроницаемость, кг/(м · ч · Па)	0,3	0,2	–33,3
Паропроницаемость, мг/(м · ч · Па)	0,33	0,30	–9,1

Из табл. видно, что тепловые, фильтрационные и влажностные свойства рассматриваемого материала при влажном нанесении заметно отличаются по сравнению с сухим нанесением. Например, теплопроводность по условиям эксплуатации Б выше, чем по условиям А, на 73 %, воздухопроницаемость — ниже на треть, а паропроницаемость — ниже на 9 %. Высокая сорбционная влажность свидетельствует о высокой влагоемкости материала. Поэтому переувлажнение теплоизоляционного материала в конструкции недопустимо и неизбежно приведет к ухудшению эксплуатационных качеств конструкции вследствие деградации утеплителя.

На рис. 1 показан годовой ход температуры и относительной влажности наружного воздуха по данным метеостанции Волгограда за 2011 г. [12, 13, 18]. Фактические данные были взяты из открытых источников.

Параметры микроклимата помещения за указанный временной период были взяты из нормативно-справочной литературы.

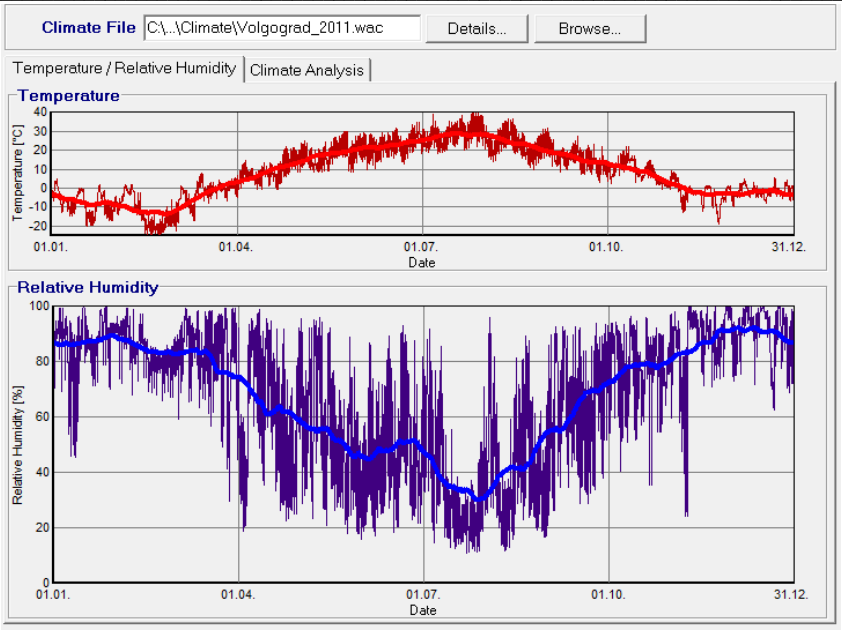


Рис. 1. Годовой ход температуры и относительной влажности наружного воздуха (часовые значения) в Волгограде

Расчетная схема конструкции наружной стены, включая разбивочную сетку, показана на рис. 2.

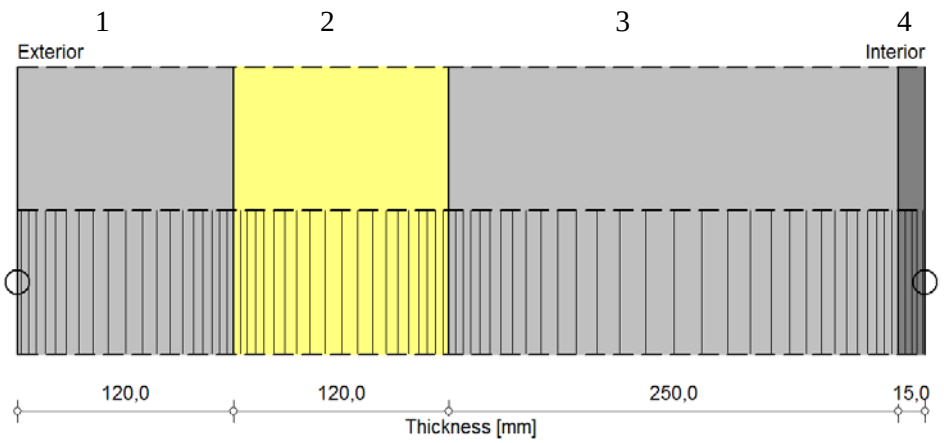


Рис. 2. Расчетная схема наружной стены: *1* — лицевая кладка силикатного кирпича, плотность 1830 кг/м^3, толщина 120 мм; *2* — теплоизоляция из «Эковаты», толщина 120 мм; *3* — кладка из силикатного кирпича, плотность 1830 кг/м^3, толщина 250 мм; *4* — известково-цементный раствор, плотность 1800 кг/м^3, толщина 15 мм

Расчет температурно-влажностного режима наружной стены выполнен при значениях начальной влажности материалов, соответствующих моменту ввода конструкции в эксплуатацию.

Результаты и обсуждение. Результаты расчета многослойной кирпичной стены представлены на рис. 3—13. Часовые колебания температуры и

относительной влажности наружного воздуха приводят к образованию в конструкции сложных тепловых и влажностных волн. По полученным графикам можно видеть годовое распределение температуры, относительной влажности воздуха и точки росы у поверхностей конструкции, оценить изменение концентрации влаги и влагосодержания по массе в каждом материальном слое и во всей конструкции, проанализировать огибающие эпюры распределения температуры и относительной влажности в слоях конструкции в течение года.

По графикам изменения температуры, влажности и точки росы у наружной поверхности конструкции (см. рис. 3, 4) видно, что температура наружной поверхности в течение года меняется от –25 до +38 °С, а относительная влажность — от 12 %, приближаясь в отдельные сутки зимнего периода к 100 %. Эти графики почти повторяют исходные климатические условия.

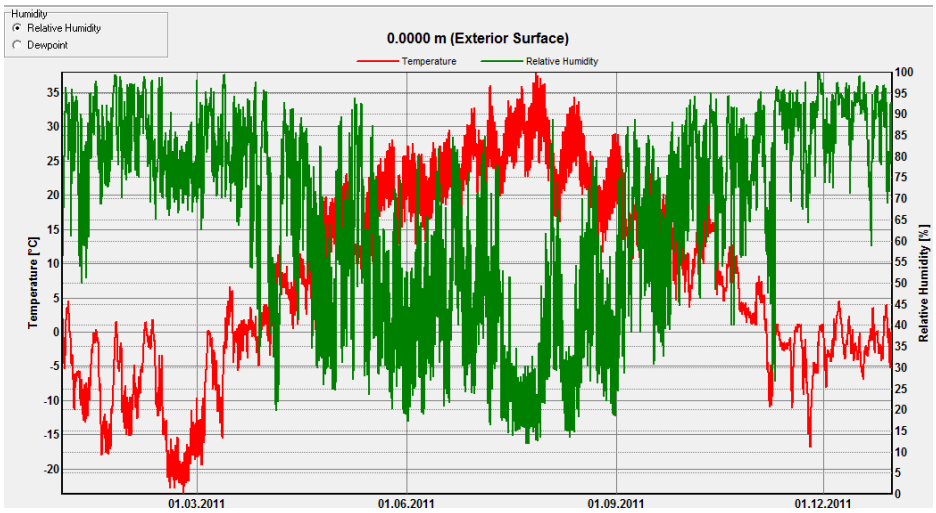


Рис. 3. Графики изменения температуры и относительной влажности у наружной поверхности конструкции в течение года

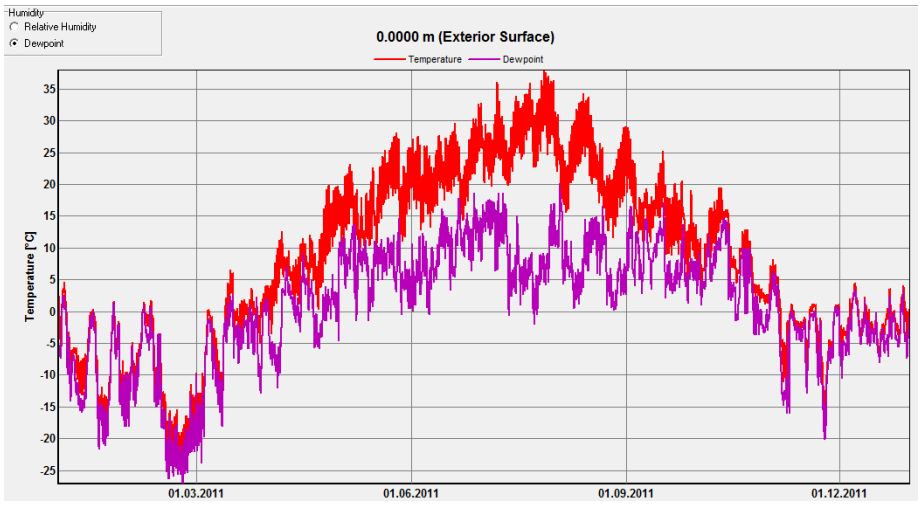


Рис. 4. Графики изменения температуры и точки росы у наружной поверхности конструкции в течение года

На рис. 5 видно, что в течение года концентрация влаги в конструкции уменьшилась с 1,15 кг/м^3 (начальное значение) до 0,7 кг/м^3, при этом минимального значения (около 0,5 кг/м^3) достигала в июле — августе. Систематического накопления влаги за первый год эксплуатации не происходит.

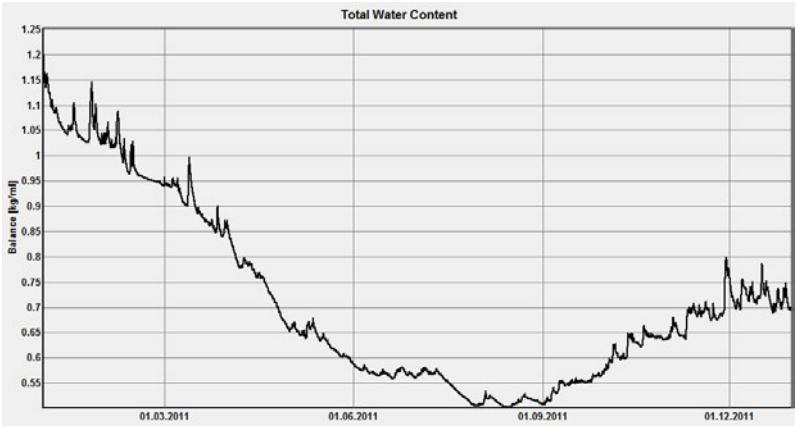


Рис. 5. График изменения концентрации влаги в конструкции в течение года

Для более детального рассмотрения процессов, происходящих внутри конструкции, представлены графики изменения концентрации влаги и массового влагосодержания в отдельных слоях (см. рис. 6—9). Связь между концентрацией влаги в порах материала, кг/м^3, и его влагосодержанием W, М %, устанавливается формулой $Cw = 0{,}01W\rho_o$, где ρ_o — плотность материала в сухом состоянии.

Из графика на рис. 6 видно, что концентрация влаги в слое известково-цементного раствора толщиной 15 мм колеблется от 21,5 кг/м^3, достигая минимума (около 13 кг/м^3) в конце февраля. Незначительный рост концентрации влаги до 17,5 кг/м^3 приходится на конец августа. В процентном отношении влажность уменьшается от 1,2 % до минимального значения (0,72 %), а затем растет до 0,97 % в августе. Слой штукатурки остается практически сухим в зимний период и имеет незначительную влажность в летний период.

Рис. 6. График изменения влажности в слое известково-цементного раствора в течение года

Из графика на рис. 7 видно, что концентрация влаги во внутреннем несущем слое из силикатного кирпича толщиной 250 мм колеблется от 0,65 до 0,05 кг/м^3. Незначительный рост концентрации влаги до 0,25 кг/м^3 приходится на июль. В процентном отношении влажность изменяется от начального значения (0,036 %), приближаясь к нулю, а затем растет до 0,01 % в июле. Внутренний слой из силикатного кирпича также практически сухой в зимний период и незначительно увлажняется в летний период.

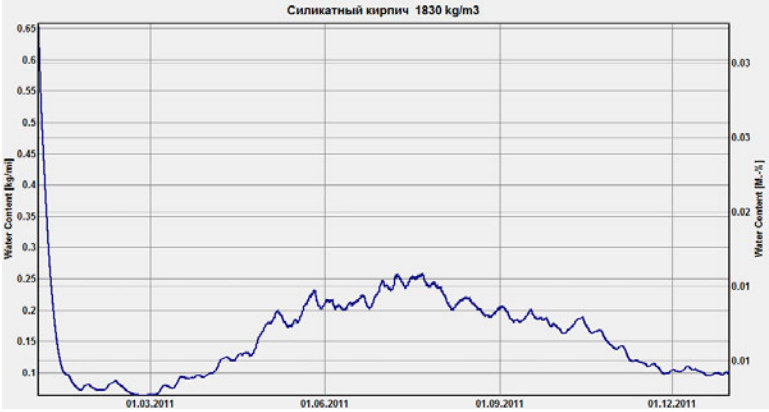


Рис. 7. График изменения влажности во внутреннем слое из силикатного кирпича в течение года

По графику на рис. 8 видно, что концентрация влаги в слое утеплителя из «Эковаты» толщиной 120 мм колеблется от 5,5 до 1,5 кг/м^3. Незначительный рост концентрации влаги до 2,2 кг/м^3 приходится на октябрь — декабрь. В процентном отношении влажность колеблется от 18 до 5 %. Увеличение влажности в процентном отношении в период с октября по декабрь составляет 7,69 %. Приращение влажности утеплителя за период влагонакопления составляет около 1,4 %. Слой утеплителя из «Эковаты» концентрирует влагу благодаря понижению температур в зимний период, что вполне обосновано климатическими условиями России. Однако влажность утеплителя находится в допустимых пределах.

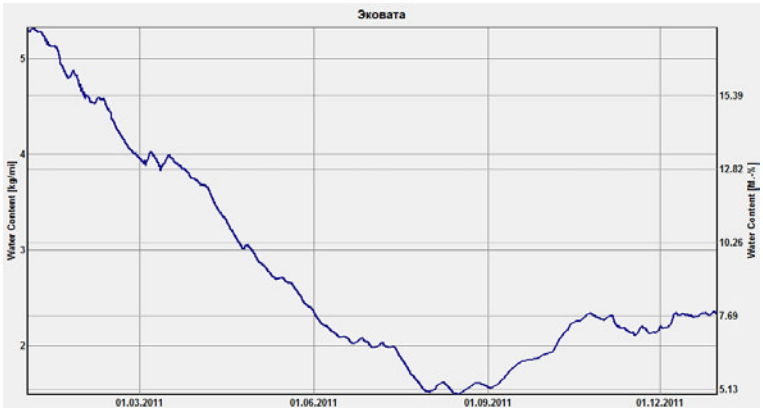


Рис. 8. График изменения влажности в слое утеплителя в течение года

По графику на рис. 9 видно, что концентрация влаги в наружном защитно-отделочном слое из силикатного кирпича толщиной 120 мм сначала увеличивается от 0,5 кг/м^3 (в начале расчета) до 3 кг/м^3 (в феврале), далее снижается, приближаясь к нулю, а затем вновь возрастает до 2,5 кг/м^3 в декабре. В процентном отношении влажность сначала увеличивается от 0,03 до 0,15 %, далее уменьшается практически до нуля, а затем снова увеличивается до 0,14 %. Повышение влажности лицевого кирпичного слоя обусловлено главным образом воздействием атмосферной влаги.

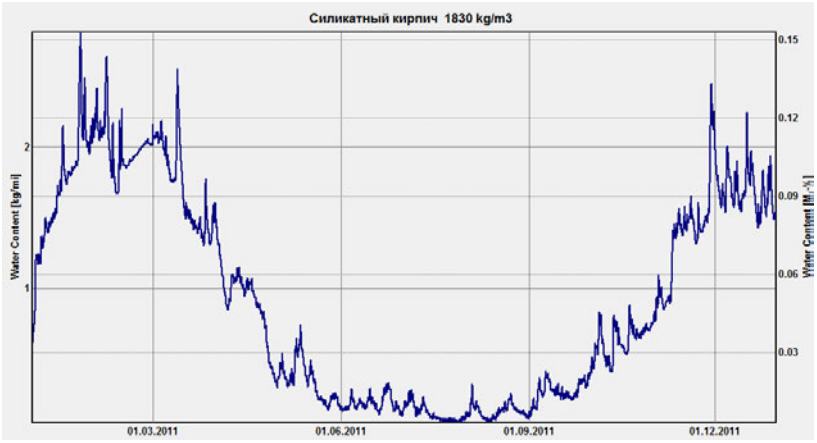


Рис. 9. График изменения влажности в наружном слое силикатного кирпича в течение года

На рис. 10, 11 представлены графики изменения температуры и относительной влажности воздуха у внутренней поверхности конструкции, а также точки росы в течение года. На графиках видно изменение температуры воздуха от 19 до 22 °С, исходя из заданных санитарно-гигиенических требований к жилым помещениям. Влажность воздуха колеблется в допустимом интервале 42…60 %. Инерционность влажностного режима выше, чем теплового режима (см. рис. 11).

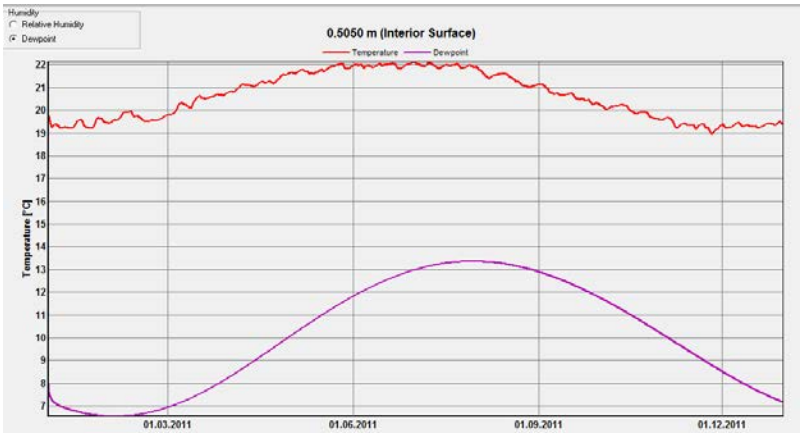


Рис. 10. Графики изменения температур и точки росы у внутренней поверхности конструкции в течение года

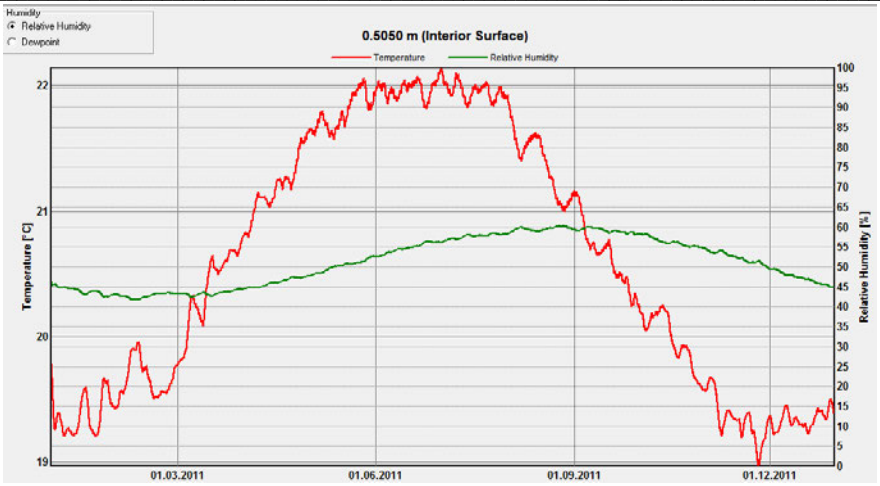


Рис. 11. Графики изменения температуры и относительной влажности воздуха у внутренней поверхности конструкции в течение года

Далее на рис. 12 и 13 представлены результирующие огибающие эпюры распределения температур и влажности в слоях конструкции в течение года. Огибающая эпюра распределения температур практически постоянна во внутреннем слое кирпичной кладки (20…22 °С). Огибающая эпюра распределения влажности в этом слое находится в пределах допустимых значений (40…80 %) [19, 20].

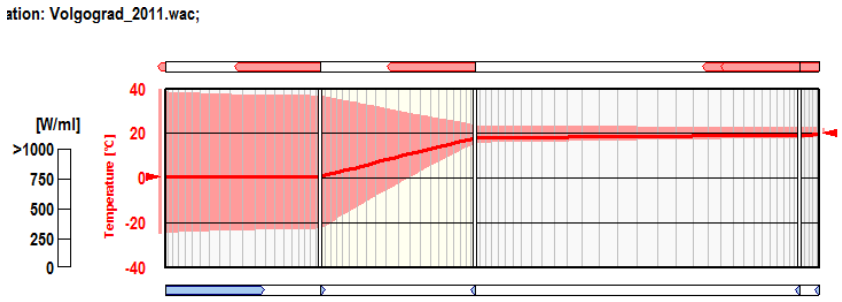


Рис. 12. Огибающая эпюра распределения температур в слоях конструкции в течение года

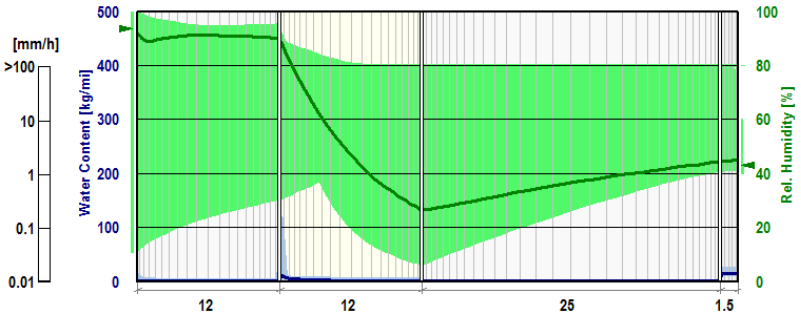


Рис. 13. Огибающая эпюра распределения влажности в слоях конструкции в течение года

Результаты численного моделирования по программе WUFI® подтверждаются практикой [17, 19, 20].

Выводы

По итогам динамического моделирования процесса взаимосвязанного тепловлагопереноса в трехслойной кирпичной стене с эффективным утеплителем «Эковата» по компьютерной программе WUFI® установлено, что расчетные теплотехнические характеристики принятого конструктивного решения наружной стены обеспечивают требования благоприятных санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях с учетом энергосбережения. Это обусловлено следующими значимыми обстоятельствами:

1. Систематического накопления влаги в конструкции за годовой период эксплуатации не происходит. Переувлажнение отдельных слоев и всей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха (период влагонакопления) отсутствует. Устройство дополнительного пароизоляционного слоя не требуется.

2. Влажность «Эковаты» находится в пределах сорбционной влажности, установленной СТО 67386386-002-2011 для метода сухого нанесения материала. Приращение влажности утеплителя за период влагонакопления составляет около 1,4 %. Это снижает риски ухудшения эксплуатационных свойств конструкции вследствие деградации материала теплоизоляционного слоя.

3. Скорость сушки «Эковаты» в трехслойной конструкции в течение первого года составляет 0,5 кг/м^3 в месяц, что позволяет классифицировать данный материал как быстровысыхающий.

4. Температура воздуха у внутренней поверхности конструкции изменяется в пределах 19…22 °С, относительная влажность воздуха колеблется в допустимом интервале 42…60 %. Указанные параметры отвечают допустимым санитарно-гигиеническим и комфортным условиям в помещении.

5. Для сохранения стабилизации формы и размеров теплоизолирующего материала в стене в процессе эксплуатации рекомендуется в качестве элементов, соединяющих внутреннюю и наружную слои кирпичной кладки, применять точечные кирпичные связи-шпонки либо гибкие пластмассовые коннекторы. Целесообразно применение горизонтальных малотеплопроводных диафрагм, размещаемых по высоте через каждые 3—5 рядов кладки. Устройство таких диафрагм позволяет минимизировать эффект продольной и внутренней фильтрации воздуха в пористом утеплителе.

6. Для исключения попадания атмосферной влаги в конструкцию и намокания утеплителя швы лицевого слоя кирпичной кладки должны быть расшиты. Не допускается устройство кладки стен впустошовку. Изнутри кладка должна быть оштукатурена плотным известково-цементным раствором.

7. Дальнейшие исследования трехслойных кирпичных стен с утеплителем «Эковата» могут быть связаны с уточнением теплофизических свойств теплоизоляционного материала, изучением влажностного состояния и влагоустойчивости материала при различной степени увлажнения, экспериментальным исследованием фрагментов стеновых конструкций в климатической камере. Окончательная оценка температурно-влажностного режима наружных стен может быть выполнена по результатам натурных наблюдений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aging, living environment, and sustainability: what should be taken into account? / I. Grazuleviciute-Vileniske, L. Seduikyte, A. Teixeira-Gomes, A. Mendes, A. Borodinecs, D. Buzinskaite // Sustainability (Switzerland). 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 1—12. DOI: 10.3390/su12051853.

2. *Горшков А. С., Дерунов Д. В., Завгородний В. В.* Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3(8). С. 12—23.

3. *Горшков А. С., Немова Д. В., Рымкевич П. П.* Экономим или нет? Российские энергосберегающие требования // Энергосбережение. 2014. № 2. С. 26—32.

4. *Горшков А. С.* Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 160 с.

5. *Vilnitis M., Lapsa V. A., Veinbergs A.* Sustainable construction success indicators // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 660(1). DOI: 10.1088/1757-899X/660/1/012041.

6. Analysis of thermal parameters of hemp fiber insulation / B. Gaujena, V. Agapovs, A. Borodinecs, K. Strelets // Energies. 2020. Vol. 13. No. 23. Pp. 1—14. DOI: 10.3390/en13236385.

7. Development of weighting factors for climate variables for selecting the energy reference year according to the en ISO 15927-4 standard / T. Kalamees, K. Jylhä, H. Tietäväinen et al. // Energy and Buildings. 2012. No. 47. Pp. 53—60. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.031.

8. *Zemitis J., Borodinecs A., Frolova M.* Measurements of moisture production caused by various sources // Energy and Buildings. 2016. No. 127. Pp. 884—891. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.045.

9. *Корниенко С. В.* Уточнение расчетных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций // Вестн. МГСУ. 2016. № 11. С. 132—145.

10. *Korniyenko S.* Advanced hygrothermal performance of building component at reconstruction of S. Radonezhskiy temple in Volgograd // MATEC Web of Conferences, 2016. P. 01003.

11. *Корниенко С. В.* О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультизональной конденсацией влаги // Стр-во и реконструкция. 2014. № 5(55). С. 29—37.

12. *Жарков А. Ф., Чеснокова О. Г.* Расчет влияния температурно-влажностного воздействия на панели АСС «Элевит» // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 35(54). С. 90—98.

13. *Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д.* Исследование температурных режимов краевых зон многослойной ограждающей конструкции здания // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1 (78). С. 58—66.

14. *Künzel H. M., Kiessl K.* Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1997. Vol. 1. No. 40. Pp. 159—167.

15. Fundamentals of WUFI®plus, Simultaneous Calculation of Transient Hygrothermal Conditions of Indoor Spaces and Building Envelopes. Holzkirchen : Fraunhofer-lnstitut für Bauphysik, 2008. 68 p.

16. WUFI Pro 5 Manual / D. Zirkelbach, Th. Schmidt, M. Kehrer, H. M. Kunzel. 43 p. URL: http://www.wufi.cz/downloads/files/WUFI-Pro-5_Manual.pdf.

17. *Усмонов Ш. З.* Моделирование энергетических параметров зданий посредством программного обеспечения WUFI®PLUS // Вестн. МГСУ. 2013. № 7. С. 176—180.

18. *Чередниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Полухин Н. Д.* Сравнительный анализ температурных режимов многослойной ограждающей конструкции кровли здания в зависимости от положения слоев утеплителя // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 4(81). С. 249—258.

19. *Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д.* Сравнительный анализ накопления влаги в конструкции стены в зависимости от типа теплоизоляции // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 4(81). С. 259—267.

20. *Чеснокова О. Г.* Сравнительный анализ влагонакопления в ограждающей конструкции в зависимости от расположения слоя утеплителя // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 47(66). С. 51—60.

© Корниенко С. В., Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Журбенко М. Д., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В., Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Журбенко М. Д. Динамическое моделирование процесса тепловлагопереноса в многослойных ограждениях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 29—40.

Об авторах:

Корниенко Сергей Валерьевич — д-р техн. наук, зав. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; skorn73@mail.ru

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

Чеснокова Варвара Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; varvarachesnok2013@yandex.ru

Журбенко Марина Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Marina970504@yandex.ru

Sergei V. Kornienko, Oksana G. Chesnokova, Varvara D. Chesnokova, Marina D. Zhurbenko

Volgograd State Technical University

DYNAMIC MODELING OF HEAT AND MOISTURE TRANSFER PROCESSES IN MULTILAYER FENCES

Dynamic modeling of the process of interconnected heat and moisture transfer in a three-layer brick wall with effective insulation “Ekovata” using the WUFI® computer program was performed. It is shown that the calculated thermal technical characteristics of the adopted structural solution of the outer wall ensure the requirements of favorable sanitary and hygienic and comfortable conditions in the premises, taking into account energy saving.

K e y w o r d s: building, enclosing structure, heat transfer, moisture transfer, thermophysical properties of building materials, thermal characteristics of enclosing structures, energy saving.

For citation:

Kornienko S. V., Chesnokova O. G., Chesnokova V. D., Zhurbenko M. D. [Dynamic modeling of heat and moisture transfer processes in multilayer fences]. *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], 2021, iss. 4, pp. 29—40.

About authors:

Sergei V. Kornienko — Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; skorn73@mail.ru

Oksana G. Chesnokova — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; oxxxana72@yandex.ru

Varvara D. Chesnokova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; varvarachesnok2013@yandex.ru

Marina D. Zhurbenko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Marina970504@yandex.ru

УДК 624.131

А. Н. Ушаков

Волгоградский государственный технический университет

О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ УПРУГОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КОМБИНИРОВАННЫХ НАКЛОННЫХ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК

Получены выражения для компонент напряжения второй основной граничной задачи плоской теории упругости для однородной изотропной полуплоскости при линейном законе перемещения участка ее границы. Приведено аналитическое решение задачи об определении величин напряжений в полуплоскости, загруженной наклонной кусочно-линейной нагрузкой, имеющей различные законы изменения по ширине полосы. Получены формулы осадки для рассматриваемых случаев нагрузок и перемещений. Приведено решение задачи о вычислении полной осадки точек упругой полуплоскости при воздействии на участок ее границы наклонной трапециевидной нагрузки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: полосовая нагрузка, напряжения и деформации, коэффициент бокового давления грунта, осадки оснований, смещение и сдвиг границы полуплоскости.

Хорошо известно, что под действием различных нагрузок основания всех сооружений претерпевают большие или меньшие вертикальные смещения, т. е. осадки.

Если величины этих осадок не превосходят некоторых наперед заданных значений, то считается, что долговременная безопасная эксплуатация сооружения обеспечена. Поэтому расчет оснований сооружений по второму предельному состоянию, т. е. по деформациям, является одной из важнейших задач механики грунтов.

Расчет осадки проводится в рамках определенной модели. Широкое распространение в механике грунтов получили модели, основанные на представлении о континуальности грунтовой среды [1—4].

В результате проведения многочисленных экспериментов установлено, что деформации грунтов под фундаментами развиваются в основном в верхней зоне основания [5]. Учитывая, что при однократном приложении нагрузки и небольшом диапазоне изменения давлений, обычно имеющем место в расчетах грунтовых оснований, соблюдается линейная зависимость между напряжениями и общими деформациями [1], заключаем, что для анализа процесса осадки сооружения могут быть применены модели, построенные на решениях линейной теории упругости [6—11]. Такие модели могут рассматриваться как модели линейно-деформируемой среды.

Отметим, что наряду с необходимостью определять вертикальное смещение часто бывает нужно отыскивать горизонтальные смещения, например при расчете оснований фундаментов распорных сооружений (арки, фермы, фундаменты с наклонной подошвой и т. д.).

При решении задач об определении напряженно-деформированного состояния оснований фундаментов расчетные схемы предполагают, что граница

полуплоскости, в том числе и нагруженный участок, являются несмещаемыми. Однако после приложения нагрузки граница нагруженного участка получает определенное смещение, которое необходимо учитывать при вычислении полной осадки фундамента.

В работе [12] предложена идея нового подхода к вопросу о вычислении осадок оснований сооружений в рамках модели линейно-деформируемой среды, учитывающая смещение границы в результате действия заданной нагрузки, приложенной к участку границы.

В развитие этого подхода в работах [13—15] рассмотрен ряд задач об определении полной осадки основания незаглубленного ленточного фундамента, вычисленной при учете дополнительных напряжений, возникающих в грунтовом массиве за счет смещения нагруженного участка границы расчетной области.

Целью настоящей работы является вычисление полных осадок точек упругой полуплоскости, возникающих от приложенных к ее границе комбинаций треугольных и равномерно распределенных полосовых нагрузок при условии того, что участок границы полуплоскости подвержен линейному перемещению.

Приводимое ниже решение базируется на решениях граничных задач плоской теории упругости для полуплоскости, полученных Н. И. Мусхелишвили [16—18].

Граничное условие для второй основной задачи плоской теории упругости в случае полуплоскости имеет следующий вид [16, с. 353]:

$$\varkappa\varphi(t) - t\overline{\varphi'(t)} - \overline{\psi(t)} = 2\mu\left(g_1(t) + ig_2(t)\right)$$

или

$$\varkappa\overline{\varphi(t)} - t\varphi'(t) - \psi(t) = 2\mu\left(g_1(t) - ig_2(t)\right),$$

где $\varphi(\tau)$, $\psi(\tau)$, $\varphi'(\tau)$, $\psi'(\tau)$ — граничные значения функций $\varphi(z)$, $\psi(z)$, $\varphi'(z)$, $\psi'(z)$, голоморфных в нижней полуплоскости; $g_1(t)$ и $g_2(t)$ — перемещения, приложенные к некоторому участку оси Ox; μ и $\varkappa$ — упругие постоянные, причем $\varkappa = 3 - 4\nu$, где ν — коэффициент Пуассона, связанный с коэффициентом бокового давления ξ_0 соотношением $\xi_0 = \nu(1-\nu)^{-1}$.

Решение задачи дают формулы для функций напряжения $\varphi(z)$ и $\psi(z)$, полученные Н. И. Мусхелишвили [там же, с. 354, 355], при этом

$$\varphi'(z) = -\frac{\mu}{\pi\varkappa i}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{g_1(t) + ig_2(t)}{(t-z)^2}dt, \tag{1}$$

$$\psi'(z) = \frac{\mu}{\pi i}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{g_1(t) - ig_2(t)}{(t-z)^2}dt - \varphi'(z) - z\varphi''(z), \tag{2}$$

где Z — произвольная точка нижней полуплоскости.

Пусть отрезок $t_0 \le t \le t_1$ оси Ox подвержен наклонному линейному перемещению (закон линейного перемещения)

$$g(t) = g_1(t) + ig_2(t) = \alpha t + \beta + i(\gamma t + \delta), \tag{3}$$

где α, β, γ, δ — заданные действительные числа, причем α и γ принимают неположительные значения; $g(t) = 0$ при остальных значениях t.

Определим напряженное состояние в нижней полуплоскости.

Подставляя выражение (3) в формулы (1) и (2), получим

$$\varphi'(z) = \frac{\mu(\alpha i - \gamma)}{\pi\aleph} \ln\frac{z - t_1}{z - t_0} + \frac{(t_1 - t_0)z}{(z - t_0)(z - t_1)} + \frac{\mu(\beta i - \delta)}{\pi\aleph} \frac{(t_1 - t_0)}{(z - t_0)(z - t_1)};$$

$$\varphi''(z) = \frac{\mu(\alpha i - \gamma)(t_1 - t_0)}{\pi\aleph} \frac{2t_0t_1 - (t_0 + t_1)z}{(z - t_0)^2(z - t_1)^2} -$$
$$- \frac{\mu(\beta i - \delta)}{\pi\aleph} \frac{(t_1 - t_0)(2z - t_0 - t_1)}{(z - t_0)^2(z - t_1)^2};$$

$$\psi'(z) = -\frac{\mu}{\pi\aleph}\big((\aleph - 1)\gamma - i(\aleph + 1)\alpha\big)\left(\ln\frac{z - t_1}{z - t_0} + \frac{(t_1 - t_0)z}{(z - t_0)(z - t_1)}\right) -$$
$$- \frac{\mu}{\pi\aleph}\big((\aleph - 1)\delta - (\aleph + 1)\beta\big)\frac{t_1 - t_0}{(z - t_0)(z - t_1)} -$$
$$- \frac{\mu(t_1 - t_0)z}{\pi\aleph}\left((\alpha i - \gamma)\frac{2t_0t_1 - (t_0 + t_1)z}{(z - t_0)^2(z - t_1)^2} - (\beta i - \delta)\frac{2z - t_0 - t_1}{(z - t_0)^2(z - t_1)^2}\right).$$

Согласно [16, с. 352], под выражением $\ln\frac{z - t_1}{z - t_0}$ на отрезке $t_0 \le t \le t_1$ будем понимать

$$\ln\frac{z - t_1}{z - t_0} = \ln\frac{\rho_1}{\rho_0} - i(\theta_1 - \theta_0),$$

где

$$\rho_1 = \sqrt{(t_1 - x)^2 + y^2}, \rho_0 = \sqrt{(x - t_0)^2 + y^2}, \tag{4}$$

$$\theta_1 - \theta_0 = \operatorname{arctg}\left(\frac{t_1 - x}{|y|}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{x - t_0}{|y|}\right). \tag{5}$$

Вычислим компоненты напряжения. Согласно [там же, с. 111],

$$\begin{aligned} &\sigma_x + \sigma_y = 4\operatorname{Re}\varphi'(z), \\ &\sigma_y - \sigma_x + 2i\tau_{xy} = 2(\bar{z}\varphi''(z) + \psi'(z)), \end{aligned} \tag{6}$$

где σ_x, σ_y, τ_{xy} — компоненты горизонтального, вертикального и касательного напряжения. С учетом выражений для производных функций φ и ψ и формул (4), (5), получим

$$\sigma_x = \frac{\mu(3+\aleph)\alpha}{\pi\aleph}\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}-(t_1-t_0)y\times\right.$$
$$\left.\times\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-(2x-t_0-t_1)x}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)-$$
$$-\frac{\mu(3-\aleph)\gamma}{\pi\aleph}\left(\ln\sqrt{\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}}+(t_1-t_0)\times\right.$$
$$\left.\times\frac{x((x-t_0)(x-t_1)-y^2)+(2x-t_0-t_1)y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)+$$
$$+\frac{\mu(3+\aleph)(t_1-t_0)\beta}{\pi\aleph}\frac{(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}-$$
$$-\frac{\mu(3-\aleph)(t_1-t_0)\delta}{\pi\aleph}\frac{(x-t_0)(x-t_1)-y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}+$$
$$+\frac{2(t_1-t_0)y}{\pi\aleph}\left[\left((2x-t_0-t_1)\beta-2y\delta-(2t_0t_1-(t_0+t_1)y\gamma\times\right.\right.$$
$$\times\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)^2-(2x-t_0-t_1)^2y^2}{((x-t_0)^2+y^2)^2((x-t_1)^2+y^2)^2}+$$
$$+(2y\beta+(2x-t_0-t_1)\delta+(t_0+t_1)y\alpha-(2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\gamma)\times$$
$$\left.\left.\times\frac{2((x-t_0)(x-t_1)-y^2)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right];\right.$$

$$\sigma_y = \frac{\mu(1-\aleph)\alpha}{\pi\aleph}\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}-(t_1-t_0)y\times\right.$$
$$\left.\times\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-(2x-t_0-t_1)x}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)-\frac{\mu(1+\aleph)\gamma}{\pi\aleph}\left(\ln\sqrt{\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}}+\right.$$
$$\left.+(t_1-t_0)\frac{x((x-t_0)(x-t_1)-y^2)+(2x-t_0-t_1)y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)+\frac{\mu(1-\aleph)(t_1-t_0)\beta}{\pi\aleph}\times$$
$$\times\frac{(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}-\frac{\mu(1+\aleph)(t_1-t_0)\delta}{\pi\aleph}\times$$
$$\times\frac{(x-t_0)(x-t_1)-y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}-\frac{2(t_1-t_0)y}{\pi\aleph}\left[\left((2x-t_0-t_1)\beta-2y\delta-\right.\right.$$
$$\left.-(2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\alpha-(t_0+t_1)y\gamma\right)\times$$
$$\times\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)^2-(2x-t_0-t_1)^2y^2}{((x-t_0)^2+y^2)^2((x-t_1)^2+y^2)^2}+(2y\beta+(2x-t_0-t_1)\delta+$$
$$\left.\left.+(t_0+t_1)y\alpha-(2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\gamma)\frac{2((x-t_0)(x-t_1)-y^2)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)^2((x-t_1)^2+y^2)^2}\right];\right. \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\mu(1+\aleph)\alpha}{\pi\aleph}\left(\ln\sqrt{\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}} + \right.$$
$$\left. + (t_1-t_0)\frac{x((x-t_0)(x-t_1)-y^2)+(2x-t_0-t_1)y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right) +$$
$$+ \frac{\mu(\aleph-1)\gamma}{\pi\aleph}\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|} + \operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right) -$$
$$- (t_1-t_0)y\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-(2x-t_0-t_1)x}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)} -$$
$$- \frac{\mu(t_1-t_0)\beta}{\pi}\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)} -$$
$$- \frac{\mu(\aleph-1)\delta}{\pi\aleph}\frac{(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)} -$$
$$- \frac{2\mu(t_1-t_0)y}{\pi\aleph}\left[\left((t_0+t_1)y\alpha + 2y\beta + (2x-t_0-t_1)\delta - \right.\right.$$
$$\left. - (2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\gamma\right)\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)^2-(2x-t_0-t_1)^2y^2}{((x-t_0)^2+y^2)^2((x-t_1)^2+y^2)^2} +$$
$$+ (2y\delta + (2x-t_0-t_1)\beta + (t_0+t_1)y\gamma -$$
$$\left. - (2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\alpha)\frac{2((x-t_0)(x-t_1)-y^2)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right].$$

Формулы (7) дают решение поставленной задаче. Заметим, что в случае симметричного относительно начала координат участка $-a \le t \le a$ полученные выражения для компонент напряжения существенно упрощаются.

Предположим, что грунтовый массив, расположенный в нижней полуплоскости, является однородным и изотропным. В этом случае можно принять, что среда является линейно-деформируемой, и для вычисления осадок воспользуемся формулой Штейнбреннера [10]

$$s = \int_0^y \varepsilon_y dy = H(x,0) - H(x,y), \tag{8}$$

где ε_y — компонента вертикальной деформации; $H(x, y)$ — вертикальное перемещение в точке (x, y), а y, например, глубина сжимаемого слоя.

Для определения компоненты вертикальной деформации воспользуемся формулой [16, с. 95]

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2\mu}(\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_y)). \tag{9}$$

С учетом формул (7) компонента вертикальной деформации, вычисленная по формуле (9), имеет вид

$$\varepsilon_y = -\frac{\alpha}{\pi\aleph}\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}-(t_1-t_0)y\times\right.$$
$$\left.\times\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-2x-t_0-t_1)x}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)-\frac{2(1-2\nu)\gamma}{\pi\aleph}\times$$
$$\times\left(\ln\sqrt{\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}}+(t_1-t_0)\frac{x((x-t_0)(x-t_1)+(2x-t_0-t_1)y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)-$$
$$-\frac{(t_1-t_0)\beta}{\pi\aleph}\frac{(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}-$$
$$-\frac{2(1-2\nu)(t_1-t_0)\delta}{\pi\aleph}\frac{(x-t_0)(x-t_1)-y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}-$$
$$-\frac{(t_1-t_0)y}{\pi\aleph}\left[((2x-t_0-t_1)\beta-2y\delta-(2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\alpha-\right.$$
$$-(t_0+t_1)y\gamma)\times\frac{((x-t_0)(x-t_1)-y^2)^2-(2x-t_0-t_1)^2y^2}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}+$$
$$+(2y\beta+(2x-t_0-t_1)\delta+(t_0+t_1)y\alpha-$$
$$\left.-(2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\gamma)\frac{2((x-t_0)(x-t_1)-y^2)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right]. \qquad (10)$$

Подставляя выражение (10) в формулу (8) и интегрируя его, находим

$$s=\frac{\alpha}{\pi\aleph}y\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)+\frac{x}{2}\left(\ln\left(\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_1)^2}\right)-\right.$$
$$\left.-\ln\left(\frac{(x-t_0)^2+y^2}{(x-t_0)^2}\right)\right)+\frac{\gamma(1-2\nu)}{\pi\aleph}\left(y\ln\left(\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}\right)-\right.$$
$$\left.-2x\left(\operatorname{arctg}\frac{y}{t_1-x}+\operatorname{arctg}\frac{y}{x-t_0}\right)\right)+\frac{\beta}{2\pi\aleph}\left[\ln\left(\frac{(t_1-x)^2+y^2}{(t_1-x)^2}\right)-\ln\left(\frac{(x-t_0)^2+y^2}{(x-t_0)^2}\right)\right]-$$
$$-\frac{2(1-2\nu)\delta}{\pi\aleph}\times\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)-\frac{1}{\pi\aleph}\left[((2x-t_0-t_1)\beta-(2t_0t_1-\right.$$
$$-(t_0+t_1)x)\alpha)\frac{(2x^2-2(t_0+t_1)x+t_0^2+t_1^2)y^2}{(t_1-t_0)((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}+$$
$$\left.+\frac{2x-t_0-t_1}{2(t_1-t_0)^2}\left(\ln\left(\frac{(t_1-x)^2+y^2}{(t_1-x)^2}\right)-\ln\left(\frac{(x-t_0)^2+y^2}{(x-t_0)^2}\right)\right)\right]+$$
$$+\frac{2\delta+(t_0+t_1)\gamma}{\pi\aleph}\left[\frac{(2x^2-2(t_0+t_1)x+t_0^2+t_1^2)y^3+(2(x-t_0)^2(x-t_1)^2y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}-\right.$$

$$-\frac{2(t_1-x)(x-t_0)}{\pi\aleph}\left(\operatorname{arctg}\frac{y}{t_1-x}+\operatorname{arctg}\frac{y}{x-t_0}\right)\Bigg]-\frac{1}{\pi\aleph}\Big[(2x-t_0-t_1)\delta-$$

$$-(2t_0t_1-(t_0+t_1)x)\gamma)\frac{2x-t_0-t_1}{t_1-t_0}\frac{y^3+(x-t_0)(x-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}+$$

$$+\frac{1}{t_1-t_0}\left(\operatorname{arctg}\frac{y}{t_1-x}+\operatorname{arctg}\frac{y}{x-t_0}\right)\Bigg]+\frac{1}{\pi\aleph}(2\beta+(t_0+t_1)\alpha\times$$

$$\times\frac{((x-t_0)^3+(x-t_1)^3)y^2}{(t_1-t_0)((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}+$$

$$+\frac{(x-t_0)(x-t_1)}{(t_1-t_0)^2}\left(\ln\left(\frac{(t_1-x)^2+y^2}{(t_1-x)^2}\right)-\ln\left(\frac{(x-t_0)^2+y^2}{(x-t_0)^2}\right)\right)\Bigg]. \tag{11}$$

Рассмотрим участок границы полуплоскости $-a \le t \le a$, симметричный относительно начала координат. Тогда, следуя (11), дадим формулы осадок для частных случаев закона линейного перемещения (3).

I. Случай равномерного смещения: $g(t) = g_1(t) + ig_2(t) = -ip$.

$$s = \frac{p}{\pi}\left(\operatorname{arctg}\frac{y}{a-x}+\operatorname{arctg}\frac{y}{a+x}\right)-\frac{2pa}{\pi\aleph}\frac{y^3+(a^2-x^2)y}{((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2}. \tag{12}$$

II. Случай равномерного сдвига: $g(t) = g_1(t) + ig_2(t) = \beta$.

$$s = \frac{4a\beta xy^2}{\pi\aleph((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2}. \tag{13}$$

III. Случай линейного смещения: $g(t) = g_1(t) + ig_2(t) = -i\frac{\gamma}{a}t$.

$$s = \frac{\gamma}{\pi\aleph a}\left((1-2\nu)y\ln\frac{(x+a)^2+y^2}{(x-a)^2+y^2}+\aleph x\left(\operatorname{arctg}\frac{y}{a-x}+\operatorname{arctg}\frac{y}{a+x}\right)+\right.$$
$$\left.+\frac{2axy(x^2+y^2-a^2)}{((x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2}\right). \tag{14}$$

IV. Случай линейного сдвига: $g(t) = g_1(t) + ig_2(t) = \frac{\beta}{a}t$.

$$s = \frac{\beta}{\pi\aleph a}\left(y\left(\operatorname{arctg}\frac{y}{a-x}+\operatorname{arctg}\frac{y}{a+x}\right)-\frac{2a(a^2+x^2)y^2}{(x^2+y^2-a^2)^2+4a^2y^2}\right). \tag{15}$$

Формулы (12)—(15) приведены в работах [14, 15, 19, 20].

Пусть теперь на участке $t_0 \le t \le t_1$ оси Ox задана наклонная кусочно-линейная нагрузка вида

$$N(t) + iT(t) = (mt + n) + i(kt + r), \tag{16}$$

где m, n, k, r — заданные действительные числа, характеризующие интенсивность приложенной нагрузки; остальная часть границы свободна от внешних усилий. Определим напряженное состояние в нижней полуплоскости.

Граничное условие для решения первой основной граничной задачи плоской теории упругости для полуплоскости имеет вид [16, с. 348]

$$\Phi(t)+\overline{\Phi(t)}+t\overline{\Phi'(t)}+\overline{\Psi(t)}=N(t)-iT(t)$$

или

$$\Phi(t)+\overline{\Phi(t)}+t\Phi'(t)+\Psi(t)=N(t)+iT(t),$$

где $\Phi(t)$, $\Psi(t)$ — граничные значения функций напряжения $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$, голоморфных в нижней полуплоскости; $N(t)$ и $T(t)$ — нормальное и касательное напряжения, приложенные к некоторому участку оси Ox.

Будем полагать, что $N(t)$ и $T(t)$ — непрерывные функции, удовлетворяющие условиям

$$N(t)=\mathrm{o}\left(\frac{1}{t}\right),\ T(t)=\mathrm{o}\left(\frac{1}{t}\right)\text{ при }|t|\to\infty.$$

Функции напряжения $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$, дающие решение первой основной граничной задаче, имеют вид [там же, с. 349]

$$\Phi(z)=-\frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{N(t)-iT(t)}{t-z}dt, \tag{17}$$

$$\Psi(z)=-\frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{N(t)+iT(t)}{t-z}dt-\Phi(z)-z\Phi'(z), \tag{18}$$

где Z — произвольная точка нижней полуплоскости.

Компоненты напряжений определим из соотношений (6), полагая в них $\varphi'(z)=\Phi(z)$, $\psi'(z)=\Psi(z)$. Имеем

$$\begin{aligned}\sigma_y=\frac{1}{\pi}\Big[&(mx-ky+n)\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)+(t_1-t_0)y\times\\&\times\frac{(mx+ky+n)((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-(kx-my+r)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\Big];\\ \tau_{xy}=\frac{1}{\pi}\Big[&(kx-my+r)\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)-ky\ln\left(\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^1}\right)-\\&-(t_1-t_0)y\frac{(kx-my+r)((x-t_0)(x-t_1)-y^2)+(mx+ky+n)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\Big].\end{aligned} \tag{19}$$

Для случая симметричного участка $-a\le t\le a$ решение данной задачи было дано Д. Е. Польшиным [21].

Рассмотрим частные случаи полученного решения.

Пусть $m = k = 0$. Тогда эпюра наклонной нагрузки имеет форму прямоугольника, т. е. является равномерно распределенной нагрузкой. Полагая в (16) $n = -p$, $r = q$, по формулам (19) получаем

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= \frac{1}{\pi}\left[q\ln\left(\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}\right) - p\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)-\right.\\
&\left.-(t_1-t_0)y\left(\frac{p((x-t_0)(x-t_1)-y^2)+q(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)\right];\\
\sigma_y &= \frac{1}{\pi}\left[p\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)+\right.\\
&\left.+(t_1-t_0)y\left(\frac{p((x-t_0)(x-t_1)-y^2)+q(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)\right];\\
\tau_{xy} &= \frac{1}{\pi}\left[q\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)-\right.\\
&\left.-(t_1-t_0)y\left(\frac{q((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-p(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right)\right].
\end{aligned} \tag{20}$$

Для симметричного участка $-a \le t \le a$ решение данной задачи было дано Н. И. Мусхелишвили [16], Д. Мичеллом [22], Г. В. Колосовым [23], Н. М. Герсевановым [24] разными способами.

Эпюра равномерно распределенной наклонной нагрузки изображена на рис. 1. Угол наклона $\varphi = \operatorname{arctg} p/q$, $p > 0$, $q > 0$ будем предполагать острым.

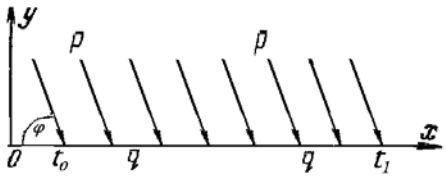


Рис. 1. Равномерно распределенная наклонная полосовая нагрузка

Теперь, полагая в (16)

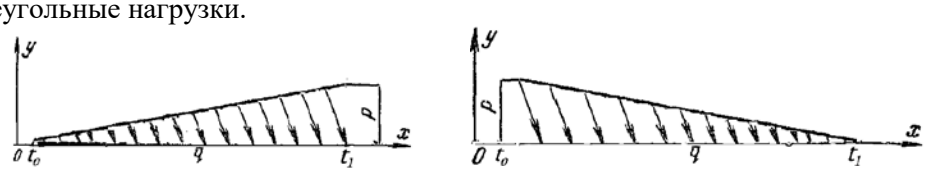
$$m = -\frac{p}{t_1-t_0},\ n = \frac{pt_0}{t_1-t_0},\ k = \frac{q}{t_1-t_0},\ r = -\frac{qt_0}{t_1-t_0}, \tag{21}$$

а затем

$$m = \frac{p}{t_1-t_0},\ n = -\frac{pt_0}{t_1-t_0},\ k = \frac{q}{t_1-t_0},\ r = -\frac{qt_0}{t_1-t_0}, \tag{22}$$

получим треугольные наклонные нагрузки с углом наклона $\varphi = \operatorname{arctg} p / q$. Эпюры нагрузок, соответствующие значениям (21) и (22), изображены на рис. 2.

Выбирая $q = 0$ или $p = 0$, получим вертикальную или горизонтальную треугольные нагрузки.



а *б*

Рис. 2. Треугольные наклонные полосовые нагрузки

Перейдем к получению формулы осадки.

Компонента вертикальной деформации, определяемая по формуле (9), с учетом выражений (19) принимает вид

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2\pi\mu}\left[((1-2\nu)(mx+n)-(1+2\nu)ky)\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)-\right.$$
$$-2\nu k(t_1-t_0)-\nu(kx-my+r)\ln\left(\frac{(x-t_1)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}\right)+(t_1-t_0)y\times \qquad (23)$$
$$\left.\times\frac{(mx+ky+n)((x-t_0)(x-t_1)-y^2)-(kx-my+r)(2x-t_0-t_1)y}{((x-t_0)^2+y^2)((x-t_1)^2+y^2)}\right].$$

Подставляя выражение (23) в формулу (8), после вычисления интегралов получим

$$2\mu s = \frac{y}{\pi}\left(\frac{1+2\nu}{2}ky-(1-2\nu)(mx+n)\left(\operatorname{arctg}\frac{t_1-x}{|y|}+\operatorname{arctg}\frac{x-t_0}{|y|}\right)\right)+$$
$$+\frac{(1+2\nu)(t_1-t_0)k}{2\pi}y+\left(kx+r-\frac{y}{2}m\right)\frac{\nu y}{\pi}\ln\left(\frac{(t_1-x)^2+y^2}{(x-t_0)^2+y^2}\right)+$$
$$+\frac{1-\nu}{\pi}(mx+n)\left((t_1-x)\ln\left(\frac{(t_1-x)^2+y^2}{(t_1-x)^2}\right)-\right.$$
$$\left.-(x-t_0)\ln\left(\frac{(x-t_0)^2+y^2}{(x-t_0)^2}\right)\right)+\frac{(1-\nu)m}{2\pi}\left((t_1-x)^2\left(\ln\frac{(t_1-x)^2+y^2}{(t_1-x)^2}\right)\right. \qquad (24)$$
$$\left.-(x-t_0)^2\left(\ln\frac{(x-t_0)^2+y^2}{(x-t_0)^2}\right)\right)+\frac{(2\nu-1)k}{2\pi}\left((t_1-x)^2\operatorname{arctg}\frac{y}{t_1-x}+\right.$$
$$+(x-t_0)^2\operatorname{arctg}\frac{y}{x-t_0}\Bigg)+\frac{(2\nu-1)(kx+r)}{\pi}\left((t_1-x)\operatorname{arctg}\frac{y}{t_1-x}-\right.$$
$$\left.-(x-t_0)\operatorname{arctg}\frac{y}{x-t_0}\right).$$

Формулы для наклонных кусочно-линейных нагрузок, заданных на симметричном относительно начала координат участке $-a \le t \le a$ и соответствующие им формулы осадки приведены в [25].

Теперь, используя приведенные выше формулы, рассмотрим задачу о вычислении полной осадки грунтового массива, загруженного на участке $a \le t \le d$ оси Ox наклонной трапециевидной нагрузкой с учетом линейного перемещения рассматриваемого участка грунтового массива (рис. 3).

Поскольку трапециевидная нагрузка представляет собой пример комбинированной нагрузки, состоящей из двух треугольных и равномерно распределенной нагрузок, то, складывая на соответствующих участках компоненты напряжения и формулы осадок для указанных типов нагрузок, получим распределение напряжений и величину осадки при действии заданной трапециевидной нагрузки на рассматриваемом участке Для получения полной осадки необходимо сложить полученную величину осадки со значением, вычисленным по формуле осадки для линейного перемещения, указав значения коэффициентов интенсивности α, β, γ, δ.

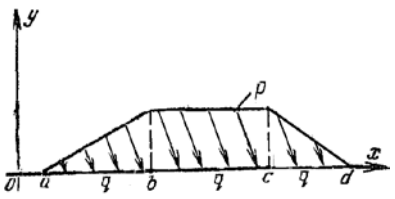


Рис. 3. Трапециевидная наклонная полосовая нагрузка

Задача. Вычислить полную осадку грунтового массива, загруженного на участке $a \le t \le d$ оси Ox заданной наклонной трапециевидной нагрузкой с учетом линейного перемещения рассматриваемого участка грунтового массива.

Положим:

на участке $a \le t \le b$:

$$m_1 = -\frac{300000}{b-a},\ n_1 = 0,\ k_1 = \frac{0{,}1}{b-a},\ r_1 = 0,\ \alpha_1 = \frac{0{,}1}{b-a},\ \beta_1 = 0,\ \gamma_1 = -\frac{1}{b-a},\ \delta_1 = 0;$$

на участке $b \le t \le c$:

$$m_2 = 0,\ n_2 = -300000,\ k_2 = 0,\ r_2 = 0{,}1,\ \ \alpha_2 = 0,\ \beta_2 = 0{,}1,\ \gamma_2 = 0,\ \delta_2 = -1;$$

на участке $c \le t \le d$:

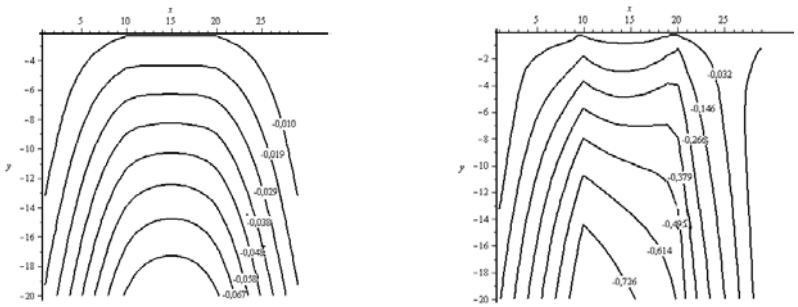
$$m_3 = -\frac{300000}{d-c},\ n_3 = -\frac{9000000}{d-c},\ k_3 = -\frac{0{,}1}{d-c},\ r_3 = \frac{0{,}1d}{d-c},$$

$$\alpha_3 = -\frac{0{,}1}{d-c},\ \beta_3 = \frac{0{,}1d}{d-c},\ \gamma_3 = \frac{1}{d-c},\ \delta_3 = -\frac{d}{d-c}.$$

Пусть $a = 0,\ b = 10,\ c = 20,\ d = 30$. Тогда, проводя вычисления, получим, например, в точке с координатами $x = 15,\ y = -2{,}5$ величину осадки от

действия наклонной трапециевидной нагрузки $s_{\text{нагр}} = -0,0105$ м; величина осадки от приложенного к рассматриваемому участку линейного перемещения $s_{\text{пер}} = -0,1206$ м. Складывая полученные значения, находим значение полной осадки $s_{\text{полн}} = -0,1311$ м.

На рис. 4, *а* представлены изолинии осадки грунтового массива, загруженного по полосе 30 м наклонной трапециевидной нагрузкой заданной интенсивности $(m_i, n_i, k_i, r_i), i = 1, \ldots, 3,$ а на рис. 4, *б* приведены изолинии грунтового массива при линейном перемещении интенсивности $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i), i = 1, \ldots 3,$ приложенном на том же участке границы полуплоскости. Грунт — песок пылеватый, μ = 16 МПа, ν = 0,3.



а *б*

Рис. 4. Изолинии осадки

На рис. 5 приведены изолинии полной осадки, полученной суммированием осадок, вызванных приложенной кусочно-линейной нагрузкой с учетом заданного линейного перемещения участка границы.

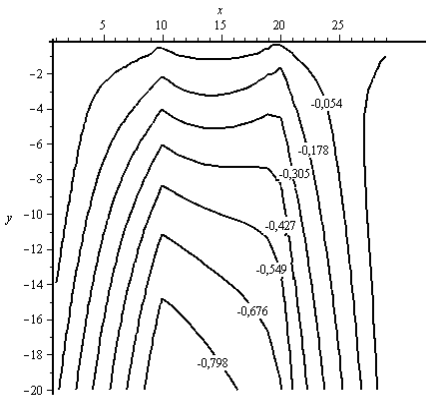


Рис. 5. Изолинии полной осадки

Выводы

1. На основе решения второй основной граничной задачи плоской теории упругости получены в замкнутом виде выражения для компонент напряжения, компоненты вертикальной деформации и формулы осадки точек упругой полуплоскости для случая перемещения участка ее границы, удовлетворяющего

линейному закону. Приведенные формулы в качестве частного случая содержат соотношения, описывающие случаи равномерного, а также линейного смещения и сдвига как для симметричного, так и для произвольного участка границы полуплоскости.

2. Приведены выражения для компонент напряжения, компоненты вертикальной деформации и формулы осадки для кусочно-линейной нагрузки, содержащей случаи треугольной и равномерно распределенной нагрузок, комбинированием которых можно получать компоненты напряжения и формулы осадок для различных типов кусочно-линейных нагрузок.

3. Компоненты напряжения, полученные в результате действия кусочно-линейной нагрузки и линейного перемещения загруженного участка полуплоскости, можно определить суммированием соответствующих компонент напряжения; аналогично можно вычислить полную осадку точек упругой полуплоскости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кушнер С. Г.* Расчет деформаций оснований зданий и сооружений. Запорожье, 2008. 496 с.

2. *Иванов П. Л.* Грунты и основания гидротехнических сооружений. М. : Высш. шк., 1985. 352 с.

3. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов : в 2 т. Т. 1. М. — Л. : Госстройиздат, 1959. 357 с.

4. *Das B. M.* Advanced soil mechanics. London : CRC Press, 2013. 634 p.

5. *Далматов Б. И.* Механика грунтов, основания и фундаменты. Л. : Стройиздат, 1988. 415 с.

6. *Партон В. З., Перлин П. И.* Методы математической теории упругости. М. : Наука, 1981. 688 с.

7. *Хан Х.* Теория упругости. М. : Мир, 1988. 344 с.

8. *Murnaghan F. D.* Finite deformation of elastic solid. New York : Wiley, 1951. 140 p.

9. *Green A. E., Zerna W.* Theoretical elasticity. Oxford : Clareden Press, 1968. 457 p.

10. *Poulos H. G., Davis E. H.* Elastic solutions for soil and rock mechanics. New York : Wiley, 1974. 411 p.

11. *Chau K. T.* Analytical Methods in Geomechanics. New York : CRC Press, 2012. 424 p.

12. Предложения о подходе к расчету оснований сооружений / А. Н. Богомолов и др. // Сб. тр. юбилейной конф., посвящ. 80-летию кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов; 110-летию со дня рождения Н. А. Цытовича, 100-летию со дня рождения С. С. Вялова. М. : МГСУ, 2010. С. 147—151.

13. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н.* Задача о вычислении осадок ленточного фундамента // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 6. С. 2—7.

14. Определение осадок точек упругой полуплоскости от действия наклонной равномерно распределенной нагрузки / А. Н. Богомолов и др. // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2011. Вып. 24(43). С. 4—11.

15. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н.* О напряженно-деформированном состоянии упругой полуплоскости при действии системы линейно-кусочных нагрузок // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. № 2. С. 2—7.

16. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966. 708 с.

17. *Stevenson A. C.* Complex potential in two-dimensional elasticity // Proceeding of the Royal Society. Ser. A. 1945. Vol. 184. No. 997. Pp. 129—179, 218—229.

18. *Lu J. K.* Complex variable methods in plane elasticity. World Scientific, 1995. 237 p.

19. О напряженно-деформированном состоянии упругой полуплоскости при линейном сдвиге участка ее границы / А. Н. Богомолов и др. // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 17—26.

20. Напряженно-деформированное состояние упругой полуплоскости при линейном смещении участка ее границы / А. Н. Богомолов и др. // Вестн. МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 2(101). С. 184—192.

21. *Польшин Д. Е.* Определение напряжений в грунте при загрузке части его поверхности // Труды ВИОС. Основания и фундаменты. 1933. Сб. № 1. С. 39—55.

22. *Michell J. H.* The inversion of the plain stress // Proc. London Math. Soc. 1902. Vol. 34. Pp. 134—142.

23. *Колосов Г. В.* Применение комплексной переменной к теории упругости. М. — Л. : Наука, 1935. 688 с.

24. *Герсеванов Н. М.* Опыт применения теории упругости к определению допускаемых нагрузок на грунт на основе экспериментальных работ // Труды МИИТ. 1930. Вып. XV.

25. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н.* О вычислении осадки упругого основания при нагрузке, меняющейся по линейно-кусочному закону // Вестн. граждан. инженеров. 2012. № 3(32). С. 143—159.

© *Ушаков А. Н., 2021*

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Ушаков А. Н. О напряженно-деформированном состоянии упругой полуплоскости при действии комбинированных наклонных кусочно-линейных нагрузок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 41—54.

Об авторе:

Ушаков Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. математики и информатики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ushakov.andrej2012@yandex.ru

Andrei N. Ushakov

Volgograd State Technical University

ON THE STRESS-STRAIN STATE OF AN ELASTIC HALF-PLANE UNDER THE ACTION OF COMBINED INCLINED PIECEWISE LINEAR LOADS

The expressions for the stress components of the second main boundary problem of planar elasticity theory for a homogeneous isotropic half-plane with a linear law of displacement of its boundary segment are obtained. An analytical solution of the problem of determining the values of stresses in a half-plane loaded with a inclined piecewise linear loaded having different laws of change across the width of the strip is given. The formulas for settlement are obtained for the considered cases of loads and displacements. The solution of the problem of calculating the total settlement of points of an elastic half-plane under the action of an inclined trapezoidal load on a segment of its boundary is presented.

K e y w o r d s: strip load, stress and strain components, coefficient of earth pressure, yielding of foundation, shift and shear of half-plane's boundary.

For citation:

Ushakov A. N. [On the stress-strain state of an elastic half-plane under the action of combined inclined piecewise linear loads]. *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], 2021, iss. 4, pp. 41—54.

About author:

Andrei N. Ushakov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ushakov.andrej2012@yandex.ru

УДК 624.131

А. Н. Ушаков

Волгоградский государственный технический университет

О НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ НА КОНТУРАХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Приведен вывод формулы нормальных тангенциальных напряжений для подземных горизонтальных выработок различных форм поперечного сечения, расположенных на заданной глубине при внутреннем равномерном растягивающем давлении, приложенном в точках контуров выработок. В качестве отображающей функции предложена функция комплексного переменного, представляющая собой полином пятой степени с простым полюсом в нуле, позволяющая проводить построение трапециевидной, треугольной, подковообразной, прямоугольной, эллиптической форм поперечного сечения, а также свода с вертикальными и наклонными стенками. Приведены уравнения для отыскания нулей и экстремальных значений нормальных тангенциальных напряжений в точках контуров выработок. Исследовано распределение напряжений на контуре подземной выработки, поперечное сечение которой имеет вид трапеции, при заданных значениях внутреннего равномерного растягивающего давления и коэффициента бокового распора горной породы. Приведены графические изображения эпюр напряжений, действующих на контуре рассматриваемой выработки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: отображающая функция, коэффициент бокового распора, нормальные тангенциальные напряжения, подземная горизонтальная выработка, равномерное давление.

Хорошо известно, что одной из актуальных проблем геомеханики является задача, связанная с исследованием напряженного состояния горных пород вблизи одиночных выработок в упругом изотропном массиве [1—6]. При этом значительный интерес представляет анализ напряженного состояния в точках контуров выработок, поскольку решение этой задачи связано с проблемой их прочности.

Поскольку один из размеров выработок (этим размером является, как правило, длина) во много раз превышает два других, пространственная задача по вычислению компонент напряжения сводится к плоской.

Решения плоских задач линейной теории упругости могут быть получены применением методов комплексного анализа [7—13], при этом формы сечений выработок можно получить при помощи функций комплексного переменного, осуществляющих конформные отображения одной из канонических областей на внешность бесконечных односвязных областей с границами, являющимися простыми замкнутыми кривыми.

Заметим, что эффективное построение функции, совершающей конформное преобразование, представляет собой довольно трудную задачу. Даже если эта функция известна, она представляет собой сложное выражение, которое на практике приводит к столь большим трудностям, что приходится отказываться от точных выражений, заменяя их более удобными выражениями из хорошо изученных функций. К таким функциям прежде всего относятся полиномы.

Данное обстоятельство способствовало созданию приближенных методов построения отображающих функций [14—18].

При решении конкретных задач теории упругости можно воспользоваться уже известными и имеющими удобный вид отображающими функциями.

В данной статье в качестве отображающей функции предложен полином пятой степени с простым полюсом в начале координат. Частные случаи рассматриваемой функции были использованы в работах [19—25] для решения ряда актуальных задач геомеханики.

Целью настоящей статьи является исследование напряженного состояния в точках контуров подземных горизонтальных выработок различной конфигурации при условии действия на контур изнутри выработки равномерного всестороннего растягивающего давления, продемонстрированное на примере выработки трапециевидной формы поперечного сечения.

Рассмотрим отображающую функцию в виде

$$z = \omega(\zeta) = i(A\zeta^{-1} + B\zeta + C\zeta^2 + D\zeta^3 + E\zeta^4 + F\zeta^5), \qquad (1)$$

где A, B, C, D, E, F — действительные коэффициенты, осуществляющие отображение внутренности единичного круга $|\zeta|<1$ на бесконечную односвязную область, граница которой представляет собой семейство простых замкнутых кривых. В зависимости от значений коэффициентов отображающей функции (1) возможно построение кривых различных конфигураций, имитирующих формы сечений подземных горных выработок. Некоторые из них приведены на рис. 1.

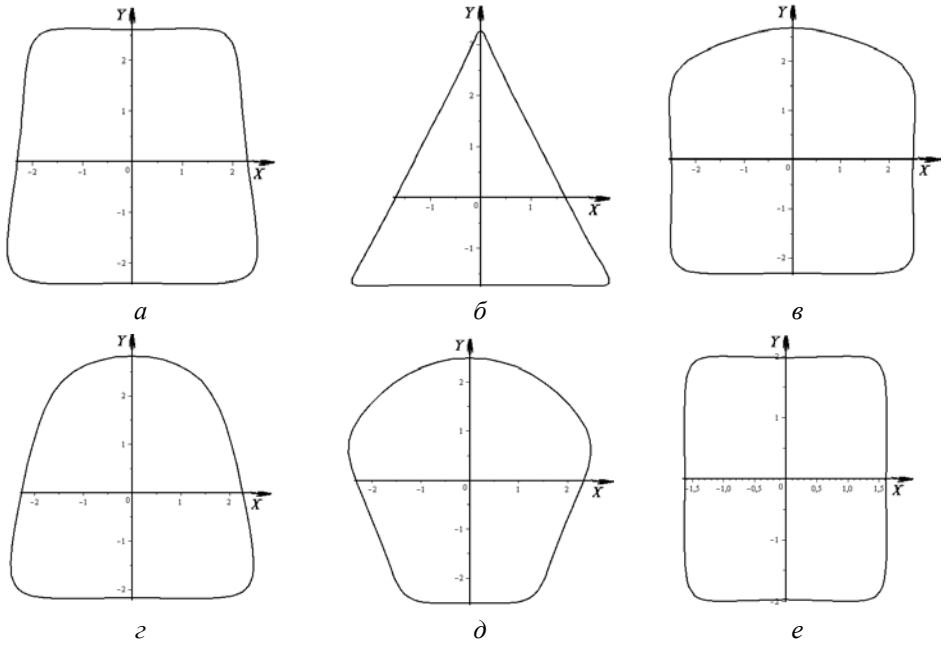


Рис. 1. Формы поперечного сечения выработок (отверстий): *а* — трапециевидная; *б* — треугольная; *в* — свод с вертикальными стенками; *г* — свод с наклонными стенками; *д* — подковообразная; *е* — прямоугольная

Будем полагать, что подземная горизонтальная выработка расположена на достаточно большой глубине, причем в точках контура действует равномерное всестороннее давление заданной величины. В этом случае горную выработку можно рассматривать как подземное хранилище углеводородов, а соответствующую задачу сформулировать как задачу об определении напряжений на контуре подземного хранилища заданной формы поперечного сечения.

Полагая в выражении (1) $\zeta = e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$ и отделяя вещественную часть от мнимой, получим уравнения контуров отверстий в параметрическом виде:

$$\begin{aligned} x(\theta) &= (A-B)\sin\theta - C\sin 2\theta - D\sin 3\theta - E\sin 4\theta - F\sin 5\theta, \\ y(\theta) &= (A+B)\cos\theta + C\cos 2\theta + D\cos 3\theta + E\cos 4\theta + F\cos 5\theta, \end{aligned} \tag{2}$$

где $0 \le \theta \le 2\pi$.

Рассмотрим подземную горизонтальную выработку неограниченной длины и сечения, конфигурация которого определяется при помощи отображающей функции (1) и задается параметрическим уравнением (2). Пусть выработка находится на глубине *H,* а ее контур подвержен равномерному давлению *p*.

Тогда напряженное состояние в горном массиве, ослабленном выработкой, имеет вид

$$\sigma_x^0 = \mu\gamma H + p,\ \sigma_0^y = \gamma H + p, \tag{3}$$

где μ — коэффициент бокового распора; p — постоянная величина, причем, согласно [4], будем полагать, что при $p > 0$ контур выработки испытывает равномерное сжатие постоянной величины p, а при $p < 0$ — равномерное растяжение той же интенсивности.

Рассмотрим функцию комплексного переменного

$$\varphi(\zeta) = \varphi_1(\zeta) + \varphi_0(\zeta), \tag{4}$$

где $\varphi_1(\zeta)$ соответствует напряженному состоянию в ненарушенном выработкой массиве горных пород, а $\varphi_0(\zeta)$ определяет дополнительную компоненту напряжения, вызванную наличием выработки.

Согласно [16], с учетом (3) имеем

$$\varphi_1(\zeta) = \left(\frac{\gamma H i(1+\mu)}{4} + \frac{pi}{2}\right)(A\zeta^{-1} + B\zeta + C\zeta^2 + D\zeta^3 + E\zeta^4 + F\zeta^5). \tag{5}$$

Перейдем к получению выражения для $\varphi_0(\zeta)$. Для этого рассмотрим граничное условие [12, с. 60], т. е.

$$\varphi_0(\zeta) + \frac{1}{2\pi i}\int_\gamma \frac{\omega(\sigma)}{\overline{\omega'(\sigma)}}\overline{\varphi_0'(\sigma)}\frac{d\sigma}{\sigma-\zeta} + \overline{b_0} = \frac{1}{2\pi i}\int_\gamma \frac{f_1^0 + if_2^0}{\sigma-\zeta}d\sigma, \tag{6}$$

где γ — единичный круг $|\zeta| < 1$, $\sigma = e^{i\theta}$, а $f_1^0 + if_2^0$ — приведенное контурное условие для функции $\varphi_0(\zeta)$.

Так как функция $\varphi_0(\zeta)$ голоморфна в круге $|\zeta|<1,$ то примем

$$\varphi_0(\zeta)=a_1i\zeta+a_2i\zeta^2+a_3i\zeta^3+a_4i\zeta^4+a_5i\zeta^5+a_6i\zeta^6+\ldots, \tag{7}$$

тогда

$$\overline{\varphi_0'}\left(\frac{1}{\zeta}\right)=-a_1i-2a_2i\frac{1}{\zeta}-3a_3i\frac{1}{\zeta^2}-4a_4i\frac{1}{\zeta^3}-5a_5i\frac{1}{\zeta^4}-6a_6i\frac{1}{\zeta^5}-\ldots$$

при $|\zeta|>1.$

Далее:

$$\frac{\omega(\sigma)}{\overline{\omega'(\sigma)}}=-\sigma^3\frac{A+B\sigma^2+C\sigma^3+D\sigma^4+E\sigma^5+F\sigma^6}{-A\sigma^6+B\sigma^4+2C\sigma^3+3D\sigma^2+4E\sigma+5F}.$$

Вычислим интеграл

$$\frac{1}{2\pi i}\int_\gamma\frac{\omega(\sigma)}{\overline{\omega'(\sigma)}}\overline{\varphi_0'(\sigma)}\frac{d\sigma}{\sigma-\zeta},$$

в котором функция $\varphi_0(\zeta)$ имеет вид (7). Имеем

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2\pi i}\int_\gamma\frac{\omega(\sigma)}{\overline{\omega'(\sigma)}}\overline{\varphi_0'(\sigma)}\frac{d\sigma}{\sigma-\zeta}=\\
&=\frac{1}{2\pi i}\int_\gamma\left[\frac{A+B\sigma^2+C\sigma^3+D\sigma^4+E\sigma^5+F\sigma^6}{-A\sigma^6+B\sigma^4+2C\sigma^3+3D\sigma^2+4E\sigma+5F}\right]\times\\
&\times i\left[a_1\sigma^3+2a_2\sigma^2+3a_3\sigma+4a_4+5a_5\frac{1}{\sigma}+\ldots\right]\frac{d\sigma}{\sigma-\zeta}=\\
&=-\frac{i}{A}\big[Ca_1+2D_2+3Ea_3+4Fa_4+(Da_1+2Ea_2+3Fa_3)\zeta+\\
&+(Ea_1+2Fa_2)\zeta^2+Fa_1\zeta^3\big].
\end{aligned}\tag{8}$$

Теперь перейдем к вычислению интеграла, стоящего в правой части граничного условия (6). Согласно [16] заметим, что

$$\begin{aligned}
f_1^0+if_2^0&=-\frac{1}{2}\left[(\gamma H(1+\mu)+2p))\omega(\sigma)+\gamma H\overline{\omega(\sigma)}\right]=\\
&=-\frac{i}{2}\big[(\gamma H(1+\mu)+2p)(A\sigma^{-1}+B\sigma+C\sigma^2+D\sigma^3+E\sigma^4+F\sigma^5)-\\
&-\gamma H(A\sigma+B\sigma^{-1}+C\sigma^{-2}+D\sigma^{-3}+E\sigma^{-4}+F\sigma^{-5})\big].
\end{aligned}$$

тогда

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2\pi i}\int_\gamma\frac{f_1^0+if_2^0}{\sigma-\zeta}d\sigma&=-\frac{i}{2}\big[((\gamma H(1+\mu)+2p)B-\gamma HA)\zeta+\\
&+((\gamma H(1+\mu)+2p)(C\zeta^2+D\zeta^3+E\zeta^4+F\zeta^5)\big].
\end{aligned}\tag{9}$$

Подставляя значения интегралов (8), (9) в граничное условие (6) и приравнивая коэффициенты при одинаковых степенях ζ, получим

$$a_1 = -\frac{1}{T}\left[\left(\frac{B}{2}+\frac{EC}{A-2F}+\frac{3DF}{2A}\right)((\gamma H(1+\mu)+2p)-\gamma H\frac{A}{2}\right],$$

$$a_2 = -\frac{E}{A-2F}\frac{1}{T}\left[\left(\frac{B}{2}+\frac{EC}{A-2F}+\frac{3DF}{2A}\right)((\gamma H(1+\mu)+2p)-\gamma H\frac{A}{2}\right]-$$
$$-\frac{1}{2}\frac{AC}{A-2F}(\gamma H(1+\mu)+2p),$$

$$a_3 = -\frac{F}{A}\frac{1}{T}\left[\left(\frac{B}{2}+\frac{EC}{A-2F}+\frac{3DF}{2A}\right)((\gamma H(1+\mu)+2p)-\gamma H\frac{A}{2}\right]-$$
$$-\frac{D}{2}((\gamma H(1+\mu),$$

$$a_4 = -\frac{1}{2}((\gamma H(1+\mu)+2p)E,$$

$$a_5 = -\frac{1}{2}((\gamma H(1+\mu)+2p)F,$$

$$a_6 = a_7 = \ldots = 0,$$

где

$$T = \frac{A-D}{A}-\frac{2E^2}{A(A-2F)}-\frac{3F^2}{A^2}.$$

Таким образом, с учетом приведенных выше формул имеем

$$\varphi_0(\zeta) = -\frac{\gamma HAi}{2T_1}(P_1\zeta+P_2\zeta^2+P_3\zeta^3)+\frac{\gamma Hi(1+\mu)}{2}(E\zeta^4+F\zeta^5)-$$
$$-\frac{Api}{T_1}\left[T_2\zeta+\frac{CT_1+ET_2}{A-2F}\zeta^2+\frac{DT_1+FT_2}{A}\zeta^3\right]-pi(E\zeta^4+F\zeta^5), \quad (10)$$

где

$$P_1 = T_2(1+\mu)-A^2(A-2F)(1-\mu),$$

$$P_2 = \frac{CT_1+ET_2}{A-2F}(1+\mu)-A^2E(1-\mu),$$

$$P_3 = \frac{DT_1+FT_2}{A}(1+\mu)-AF(A-2F)(1-\mu),$$

$$T_1 = A^2(A - D - 2F) + 2A(DF - E) + 3F^2(2F - A),$$

$$T_2 = A(AB - 2F + 2EC + 3FD) - 6DF^2.$$

Компонента напряжения $\varphi_1(\zeta)$ описывается формулой (5).

Для нахождения формулы нормальных тангенциальных напряжений воспользуемся известным соотношением [7]

$$\sigma_\rho + \sigma_\theta = 4\,\mathrm{Re}\,\Phi(\zeta), \tag{11}$$

где

$$\Phi(\zeta) = \frac{\varphi'(\zeta)}{\omega'(\zeta)}. \tag{12}$$

Подставляя в правую часть равенства (12) выражения для производных функций (1) и (4) и учитывая соотношения (5) и (10), получим

$$4\Phi_1(\zeta) = \gamma H(1+\mu) - \frac{2\gamma H\left[\dfrac{A}{T_1}(P_1\zeta^2 + 2P_2\zeta^3 + 3P_3\zeta^4) + (1+\mu)(3E\zeta^5 + 5F\zeta^6)\right]}{-A + B\zeta^2 + 2C\zeta^3 + 3D\zeta^4 + 4E\zeta^5 + 5F\zeta^6}, \tag{13}$$

$$4\Phi_2(\zeta) = 2p - \frac{4p\left[\dfrac{A}{T_1}\left(T_2\zeta^2 + 2\left(\dfrac{CT_1 + ET_2}{A - 2F}\right)\zeta^3 + 3\left(\dfrac{DT_1 + FT_2}{A}\right)\zeta^4\right) + 4E\zeta^5 + 5F\zeta^5\right]}{-A + B\zeta^2 + 2C\zeta^3 + 3D\zeta^4 + 4E\zeta^5 + 5F\zeta^6}. \tag{14}$$

Тогда

$$\Phi(\zeta) = \Phi_1(\zeta) + \Phi_2(\zeta).$$

Положим $\zeta = e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$. Введем обозначения:

$$R_1 = \frac{A}{T_1}(P_1\cos 2\theta + 2P_2\cos 3\theta + 3P_3\cos 4\theta) + (1+\mu)(4E\cos 5\theta + 5F\cos 6\theta),$$

$$R_2 = \frac{A}{T_1}(P_1\sin 2\theta + 2P_2\sin 3\theta + 3P_3\sin 4\theta) + (1+\mu)(4E\sin 5\theta + 5F\sin 6\theta),$$

$$R_3 = \frac{A}{T_1}\left(T_2\cos 2\theta + 2\alpha\cos 3\theta + 3\beta\cos 4\theta\right) + 4E\cos 5\theta + 5F\cos 6\theta),$$

$$R_4 = \frac{A}{T_1}\left(T_2\sin 2\theta + 2\alpha\sin 3\theta + 3\beta\sin 4\theta\right) + 4E\cos 5\theta + 5F\cos 6\theta),$$

$$\alpha = \frac{CT_1 + ET_2}{A - 2F},\ \beta = \frac{DT_1 + FT_2}{A};$$

$$S_1 = -A + B\cos 2\theta + 2C\cos 3\theta + 3D\cos 4\theta + 4E\cos 5\theta + 5F\cos 6\theta,$$

$$S_2 = B\sin 2\theta + 2C\sin 3\theta + 3D\sin 4\theta + 4E\sin 5\theta + 5F\sin 6\theta.$$

Тогда соотношения (13) и (14) принимают вид

$$4\Phi_1(\zeta) = \gamma H(1+\mu) - 2\gamma H\frac{R_1 + iR_2}{S_1 + iS_2}, \tag{13a}$$

$$4\Phi_2(\zeta) = 2p - 4p\frac{R_3 + iR_4}{S_1 + iS_2}. \tag{14a}$$

Умножая числители и знаменатели дробей, стоящие в правых частях соотношений (13а) и (14а) на $S_1 - iS_2$ и выделяя действительные части, получим

$$\mathrm{Re}\left(\frac{R_n + iR_{n+1}}{S_1 + iS_2}\right) = \frac{R_nS_1 + R_{n+1}S_2}{S_1^2 + S_2^2},\ n = 1,3,$$

причем

$$S_1^2 + S_2^2 = K + L\cos\theta + M\cos 2\theta + N\cos 3\theta + R\cos 4\theta + \\ + U\cos 5\theta + V\cos 6\theta, \tag{15}$$

где

$$K = A^2 + B^2 + 4C^2 + 9D^2 + 16E^2 + 25F^2,\ L = 4C(B + 3D) + \\ + 8E(3D + 5F),\ M = 2B(3D - A) + 16CE + 30DF,$$

$$N = 8BE + 4C(5F - A),\ R = 10BF - 6AD,\ U = -8AE,\ V = -10AF. \tag{16}$$

Далее, с учетом полученных выше соотношений, формула (11) принимает вид

$$\sigma_\rho + \sigma_\theta = 4\,\mathrm{Re}\,\Phi(\zeta) = \\ = \frac{\gamma H(1+\mu)(S_1^2 + S_2^2) - 2\gamma H(R_1S_1 + R_2S_2)}{K + L\cos\theta + M\cos 2\theta + N\cos 3\theta + R\cos 4\theta + U\cos 5\theta + V\cos 6\theta} + \\ + 2p - 4p\frac{R_3S_1 + R_4S_2}{K + L\cos\theta + M\cos 2\theta + N\cos 3\theta + R\cos 4\theta + U\cos 5\theta + V\cos 6\theta}, \tag{17}$$

при этом числитель первой дроби может быть записан в виде

$$\gamma H\left[(1+\mu)(K - 2W_0) - \frac{2A}{T_1}Q_0 + \left((1+\mu)(L - 2W_1) - \frac{2A}{T_1}Q_1\right)\cos\theta + \right. \\ + \left((1+\mu)(M - 2W_2) - \frac{2A}{T_1}Q_2\right)\cos 2\theta + \left((1+\mu)(N - 2W_3) - \right. \\ \left. - \frac{2A}{T_1}Q_3\right)\cos 3\theta + \left((1+\mu)(R - 2W_4) - \frac{2A}{T_1}Q_4\right)\cos 4\theta + \\ \left. + (1+\mu)(U - 2W_5) + (1+\mu)(V - 2W_6)\right], \tag{18}$$

а числитель второй дроби — в виде

$$W_0 + \frac{A}{T_1}\tilde{Q}_0 + \left(W_1 + \frac{A}{T_1}\tilde{Q}_1\right)\cos\theta + \left(W_2 + \frac{A}{T_1}\tilde{Q}_2\right)\cos 2\theta +$$
$$+ \left(W_3 + \frac{A}{T_1}\tilde{Q}_3\right)\cos 3\theta + \left(W_4 + \frac{A}{T_1}\tilde{Q}_4\right)\cos 4\theta + W_5\cos 5\theta + W_6\cos 6\theta,$$

где

$$Q_0 = BP_1 + 4CP_2 + 9DP_3,\ \ Q_1 = 2CP_1 + 2(B+3D)P_2 + 6(C+2E)P_3,$$

$$Q_2 = (3D - A)P_1 + 8EP_2 + 3(B+5F)P_3,$$

$$Q_3 = 4EP_1 + 2(5F - A)P_2,\ \ Q_4 = 5FP_1 - 3AP_3;$$

$$\tilde{Q}_0 = BT_2 + 4C\alpha + 9D\beta,\ \ \tilde{Q}_1 = 2CT_2 + 2(B+3D)\alpha + 6(C+2E)\beta,$$

$$\tilde{Q}_2 = (3D - A)T_2 + 8E\alpha + 3(B+5F)\beta,$$

$$\tilde{Q}_3 = 4ET_2 + 2(5F - A)\alpha,\ \ \tilde{Q}_4 = 5FT_2 - 3A\beta;$$

$$W_0 = 16E^2 + 25F^2,\ \ W_1 = 12DE - 40EF,\ \ W_2 = 8CE + 15DF,$$

$$W_3 = 4BE + 10CF,\ \ W_4 = 5BF,\ \ W_5 = -4AE,\ \ W_6 = -5AF.$$

Соберем коэффициенты при всех степенях $\cos n\theta$, где $n = 0, 1, \ldots, 6$ в числителе (18) дроби (17). Имеем:

1. При свободном члене

$$(1+\mu)(K - 2W_0) - \frac{2A}{T_1}Q_0 = (1+\mu)I_{01} + (1-\mu)I_{02},$$

где

$$I_{01} = 16E^2 + 25F^2 + 4C^2 + 9D^2 - B^2 - A^2 + \left(2AB + \frac{8ACE}{A-2F} + 18DF\right)\frac{T_2}{T_1} + \frac{16C^2F}{A-2F},$$

$$I_{02} = -\frac{2A^2}{T_1}((A-2F)(AB+9F) + 4ACE).$$

2. При $\cos\theta$

$$(1+\mu)(L - 2W_1) - \frac{2A}{T_1}Q_1 = (1+\mu)I_{11} + (1-\mu)I_{12},$$

$$I_{11} = 40EF + 24DE - 4BC + \left(4AC + \frac{4AE(B+3D)}{A-2F} + 12F(C+2E)\right)\frac{T_2}{T_1} +$$
$$+ \frac{4AC(B+3D)}{A-2F},$$

$$I_{12} = -\frac{4A^2}{T_1}((A-2F)(AC+6EF)+AE(B+3D)).$$

3. При $\cos 2\theta$

$$(1+\mu)(M-2W_2)-\frac{2A}{T_1}Q_2=(1+\mu)I_{21}+(1-\mu)I_{22},$$

$$I_{21}=2AB+30DF+\left(2A(3D-A)+\frac{16AE^2}{A-2F}+6F(B+5F)\right)\frac{T_2}{T_1}+\frac{16ACE}{A-2F},$$

$$I_{22}=-\frac{2A^2}{T_1}(8AE^2+(A-2F)(3AD-A^2)+3F(B+5F)).$$

4. При $\cos 3\theta$

$$(1+\mu)(N-2W_3)-\frac{2A}{T_1}Q_3=(1+\mu)I_{31}+(1-\mu)I_{32},$$

$$I_{31}=\frac{12A}{A-2F}E(A-3F)\frac{T_2}{T_1}+CF\ ,\ I_{32}=-\frac{4A^3E}{T_1}(A+4F).$$

5. При $\cos 4\theta$

$$(1+\mu)(R-2W_4)-\frac{2A}{T_1}Q_4=(1+\mu)I_{41}+(1-\mu)I_{42},$$

$$I_{41}=4AF\frac{T_2}{T_1},\ I_{42}=-\frac{16A^3F(A-2F)}{T_1}.$$

6. При $\cos 5\theta$ и $\cos 6\theta$ коэффициенты будут равны нулю.

Обозначим

$$I_k=(1+\mu)I_{k1}+(1-\mu)I_{k2},\ \text{где}\ k=0,\ldots,4. \tag{19}$$

Тогда формула (17), с учетом выражения (19), принимает вид

$$\sigma_\rho+\sigma_\theta=-\gamma H\frac{I_0+I_1\cos\theta+I_2\cos 2\theta+I_3\cos 3\theta+I_4\cos 4\theta}{K+L\cos\theta+M\cos 2\theta+N\cos 3\theta+R\cos 4\theta+U\cos 5\theta+V\cos 6\theta}+$$
$$+2p-3p\frac{J_0+J_1\cos\theta+J_2\cos 2\theta+J_3\cos 3\theta+J_4\cos 4\theta-4AE\cos 5\theta-5AF\cos 6\theta}{K+L\cos\theta+M\cos 2\theta+N\cos 3\theta+R\cos 4\theta+U\cos 5\theta+V\cos 6\theta}, \tag{20}$$

где

$$J_m=\frac{A}{T_1}\tilde{Q}_m+W_m,\ m=0,\ldots,4. \tag{21}$$

Поскольку к контуру отверстия приложено давление интенсивности p, формула для определения нормальных тангенциальных напряжений (20) принимает вид

$$\sigma_\theta = -\gamma H \frac{I_0 + I_1\cos\theta + I_2\cos 2\theta + I_3\cos 3\theta + I_4\cos 4\theta}{K + L\cos\theta + M\cos 2\theta + N\cos 3\theta + R\cos 4\theta + U\cos 5\theta + V\cos 6\theta} + \\ + p\left(1 - 4\frac{J_0 + J_1\cos\theta + J_2\cos 2\theta + J_3\cos 3\theta + J_4\cos 4\theta - \right. \\ \left. \frac{-4AE\cos 5\theta - 5AF\cos 6\theta}{K + L\cos\theta + M\cos 2\theta + N\cos 3\theta + R\cos 4\theta + U\cos 5\theta + V\cos 6\theta}\right). \quad (22)$$

Нетрудно видеть, что функция $\sigma_\theta = \sigma(\theta)$ определена при любых значениях аргумента θ. Действительно, из равенства (15) следует, что знаменатель дроби (22) неотрицателен при всех значениях аргумента θ. Поскольку, согласно (8), коэффициент A отображающей функции (1) не может быть равен нулю, а из (16) следует, что вместе с ним и K положителен, заключаем, что знаменатель дроби (22) не обращается в нуль ни при каких значениях аргумента θ.

Формула (22) получена в предположении, что глубина заложения выработки H значительна и, согласно [1], будем полагать, что

$$H \geq 50R_{\max}, \quad (23)$$

где $R_{\max}$ — наибольший линейный размер сечения выработки.

Нахождение нулей нормальных тангенциальных напряжений сводится к решению уравнения

$$\lambda_6\cos^6\theta + \lambda_5\cos^5\theta - 8\lambda_4\cos^4\theta - 4\lambda_3\cos^3\theta - \\ - 2\lambda_2\cos^2\theta - \lambda_1\cos\theta - \lambda_0 = 0, \quad (24)$$

где

$$\lambda_6 = 320AFp, \lambda_5 = 128AEp, \lambda_4 = \gamma HI_4 - p(R - 60AF - 4J_4),$$
$$\lambda_3 = \gamma HI_3 - p(N - 40AE - 4J_3),$$
$$\lambda_2 = \gamma H(I_2 - 4I_4) - p(M - 4R + 90AF - 4(J_2 - 4J_4)), \quad (25)$$
$$\lambda_1 = \gamma H(I_1 - 3I_3) - p(L - 3N + 40AE - 4(J_1 - 3J_3)),$$
$$\lambda_0 = \gamma H(I_0 - I_2 + I_4) - p(K - M + R - 10AF - 4(J_0 - J_2 + J_4)).$$

Рассматривая выражение (22) как функцию аргумента θ, вычислим производную функции $\sigma'(\theta)$. Преобразовывая получившееся выражение и приравнивая его нулю, получаем два уравнения для нахождения критических значений:

$$\sin\theta = 0,$$
$$512\delta_9\cos^9\theta + 128\delta_8\cos^8\theta + 128\delta_7\cos^7\theta + 32\delta_6\cos^6\theta + \\ + 32\delta_5\cos^5\theta + 8\delta_4\cos^4\theta + 8\delta_3\cos^3\theta + 2\delta_2\cos^2\theta + 2\delta_1\cos\theta + \delta_0 = 0, \quad (26)$$

где

$$\begin{aligned}
&\delta_9 = a_1,\ \delta_8 = a_2,\ \delta_7 = a_3 - 8a_1,\ \delta_6 = a_4 - 7a_2,\ \delta_5 = 21a_1 - 6a_3 + a_5,\\
&\delta_4 = 15a_2 - 5a_4 + a_6,\ \delta_3 = 10a_3 + a_7 - 20a_1 - 4a_5,\\
&\delta_2 = 6a_4 + a_8 - 3a_6 - 10a_2,\ \delta_1 = 10a_1 - 8a_3 + 3a_5 - 2a_7 + a_9,\\
&\delta_0 = 3a_4 + a_8 - a_2 - 2a_6 + a_{10}.
\end{aligned} \tag{27}$$

$$\begin{aligned}
&a_1 = (10AFI_4)\gamma H - 2p(10AF(R - 2J_4),\\
&a_2 = (8AEI_4 + 30AFI_3)\gamma H - 2p(8AE(R - 2J_4) + 30AF(N - 2J_3)),\\
&a_3 = (8AEI_3 + 20AFI_2)\gamma H - 2p(8AE(N - 2J_3) + 20AF(M - 2J_2)),\\
&a_4 = (24AEI_2 + 50AFI_1 + NI_4 - RI_3)\gamma H - 2p(24AE(M - 2J_2) +\\
&\quad + 50AF(L - 2J_1) + 2(RJ_3 - NJ_4)),\\
&a_5 = (16AEI_1 + 60AFI_0 + MI_4 - RI_2)\gamma H - 2p(16AE(L - 2J_1) +\\
&\quad + 60AF(K - 2J_0) + 2(RJ_2 - MJ_4)),\\
&a_6 = (80AEI_0 + 70AFI_1 + MI_3 - NI_2 + 3(LI_4 - RI_1)\gamma H -\\
&\quad - 2p(80AE(K - 2J_0) + 70AF(L - 2J_1) + 2(NJ_2 - MJ_3) + 6(RJ_1 - LJ_4)),\\
&a_7 = (24AEI_1 + 40AFI_2 + LI_3 - NI_1 + 4(KI_4 - RI_0))\gamma H -\\
&\quad - 2p(24AE(L - 2J_1) + 40AF(M - 2J_2) + 2(NJ_1 - LJ_3) + 8(RJ_0 - KJ_4)),\\
&a_8 = (56AEI_2 + 90AFI_3 + LI_2 - MI_1 + 5(LI_4 - RI_1) + 6(KI_3 - NI_0))\gamma H -\\
&\quad - 2p(56AE(M - 2J_2) + 90AF(N - 2J_3) + 2(MJ_1 - LJ_2) + 10(RJ_1 - LJ_4) +\\
&\quad + 12(NJ_0 - KJ_3)),\\
&a_9 = (64AEI_3 + 80AFI_2 + 2(KI_2 + LI_3 - MI_0 - NI_1) + 3(MI_4 - RI_2))\gamma H -\\
&\quad - 2p(64AE(N - 2J_3) + 80AF(M - 2J_2) + 4(MJ_0 + NJ_1 - KJ_2 - LJ_3) +\\
&\quad + 6(RJ_2 - MJ_4)), a_{10} = (200AEI_0 - 168AEI_2 + 48AEI_4 - 90AFI_3 +\\
&\quad + KI_1 - LI_0 + 5(MI_3 - NI_2) + 9(NI_0 - KI_3))\gamma H - 2p(200AE(K - 2J_0) -\\
&\quad - 168AE(M - 2J_2) + 48AE(R - 2J_4) - 90AF(N - 2J_3) +\\
&\quad + 2(KJ_1 - LJ_0) + 10(NJ_2 - MJ_3) + 18(KJ_3 - NJ_0)).
\end{aligned} \tag{28}$$

Уравнение $\sin\theta = 0$ дает значения $\theta_1 = 0$ и $\theta_2 = \pi$, а уравнение (26) можно решить на отрезке $0 \le \theta \le \pi$ с достаточной для практики степенью точности.

Теперь, используя приведенные выше формулы, рассмотрим задачу о распределении напряжений на контуре трапециевидной формы, имитирующей подземную горизонтальную выработку соответствующей формы поперечного сечения.

Воспользовавшись предложенным в работе [26] алгоритмом, построим контур заданной формы размеров: ширины и высоты, составляющих 4 м.

Параметрические уравнения контура имеют вид

$$\begin{aligned}
&x(\theta) = -2{,}141\sin\theta - 0{,}125\sin 2\theta - 0{,}291\sin 3\theta + 0{,}041\sin 4\theta - 0{,}009\sin 5\theta,\\
&y(\theta) = -2{,}299\cos\theta + 0{,}125\cos 2\theta + 0{,}291\cos 3\theta - 0{,}041\cos 4\theta + 0{,}009\cos 5\theta.
\end{aligned}$$

Таким образом, отображающая функция

$$z = \omega(\zeta) = i(-2{,}22\zeta^{-1} - 0{,}079\zeta + 0{,}125\zeta^2 + 0{,}291\zeta^3 - 0{,}041\zeta^4 + 0{,}009\zeta^5)$$

совершает конформное отображение внутренности единичного круга $|\zeta|<1$ на бесконечную односвязную область, границей которой является трапеция заданных размеров (рис. 1, *а*).

Задача. Исследовать напряженное состояние на границе трапециевидной выработки в зависимости от величины численного значения давления, действующего по этой границе, при условии, что величина коэффициента бокового распора задана заранее.

Итак, положим:

$$A = -2{,}22,\ B = -0{,}079,\ C = 0{,}125,\ D = 0{,}291,\ E = -0.041,\ F = 0{,}009.$$

Рассмотрим в качестве вмещающей породы гранит с объемным весом γ = 2,5 т/м^3 и пределами прочности при растяжении $R_{\text{рас}} = -1735$ т/м^2 и сжатии $R_{\text{сж}} =$ 20 400 т/м^2. Поскольку наибольший линейный размер трапециевидной выработки, согласно ее построению, составляет 4 м, с учетом (23) положим H = 200 м. Тогда $\gamma H = 500$ т/м^2.

При решении задачи примем значение коэффициента бокового распора равным μ = 0,25, что соответствует величине коэффициента Пуассона ν = 0,20, принимаемой в среднем для горных пород [1].

На основании формул (19), (21) и приведенных в данной работе соотношений для $I_{kl},\ k = 0, \ldots 4,\ l = 1{,}2;\ \widetilde{Q}_m$ и $W_m, m = 0, \ldots, 4,$ а также формул (16), получаем

$$I_0 = -5{,}399,\ I_1 = 0{,}930,\ I_2 = 8{,}928,\ I_3 = -0{,}206,\ I_4 = 0{,}050;$$

$$J_0 = 0{,}858,\ J_1 = 0{,}127,\ J_2 = -0{,}258,\ J_3 = 0{,}567,\ J_4 = 1{,}937; \qquad (29)$$

$$K = 5{,}877,\ L = 0{,}096,\ M = -0{,}492,\ N = 1{,}158,\ R = 3{,}869;$$

$$U = -0{,}728,\ V = 0{,}200.$$

Тогда уравнение (24) с учетом соотношений (25) принимает вид

$$6{,}394p\cos^6\theta - 11{,}651p\cos^5\theta + (0{,}4\gamma H + 21{,}22p)\cos^4\theta +$$
$$+ (-0{,}824\gamma H + 18{,}992p)\cos^3\theta + (17{,}46\gamma H - 28{,}518p)\cos^2\theta +$$
$$+ (1{,}548\gamma H - 6{,}553p)\cos\theta - 14{,}277\gamma H + 1{,}864p = 0.$$

Для нахождения нулей необходимо задать значения давления p. Из постановки задачи следует, что необходимо выбирать значения $p < 0$.

В качестве значений давлений, приложенных к контуру выработки, примем:

$$p_1 = 0 \text{ т/м}^2,\ p_2 = 102 \text{ т/м}^2,\ p_3 = 204 \text{ т/м}^2. \qquad (30)$$

Прямые вычисления по формуле (22) с учетом (29) дают следующие значения нулей:

при $p_1 = 0$ т/м^2 $\theta_1 = 0{,}514,\ \theta_2 = 2{,}739;$

при $p_2 = 102$ т/м^2 $\theta_1 = 0{,}570,\ \theta_2 = 2{,}662;$

при $p_3 = 204$ т/м^2 $\theta_1 = 0{,}644,\ \theta_2 = 2{,}569.$

Перейдем к вычислению экстремальных значений нормальных тангенциальных напряжений.

По формулам (26) с учетом (27) и (28) при $p_1 = 0$ т/м^2 имеем $\theta_1 = 0{,}916,\ \theta_2 = 1{,}728,\ \theta_3 = 2{,}371.$

Присоединяя к полученным значениям $\theta_4 = 0$ и $\theta_5 = \pi,$ получаем:

$\sigma(\theta_1) = 1\,954\,877{,}268,\ \sigma(\theta_4) = -217\,508{,}078,$

$\sigma(\theta_2) = 684\,299{,}969,\ \sigma(\theta_5) = -161\,488{,}525,$

$\sigma(\theta_3) = 1\,457\,422{,}214,$

Тогда

$\sigma_{\min}(\theta_4) = -217\,508{,}078,\ \sigma_{\max}(\theta_1) = 1\,954\,877{,}268.$

Для остальных значений давления (30) аналогичными вычислениями получаем:

при $p_2 = 102$ т/м^2 имеем:

$\theta_1 = 0{,}939,\ \theta_2 = 1{,}741,\ \theta_3 = 2{,}340,\ \theta_4 = 3{,}029,\ \theta_5 = 0,\ \theta_6 = \pi.$

Тогда

$\sigma_{\min}(\theta_5) = -197\,178{,}408,\ \sigma_{\max}(\theta_1) = 1\,618\,773{,}485;$

при $p_2 = 104$ т/м^2 имеем:

$\theta_1 = 0{,}386,\ \theta_2 = 0{,}975,\ \theta_3 = 1{,}762,\ \theta_4 = 2{,}278,\ \theta_5 = 2{,}7610,\ \theta_6 = 0,\ \theta_7 = \pi.$

Тогда

$\sigma_{\min}(\theta_1) = -198\,772{,}855,\ \sigma_{\max}(\theta_2) = 1\,319\,306{,}349.$

Проведенные вычисления позволяют выделить участки, на которых при заданных значениях равномерного давления действуют растягивающие напряжения, а именно:

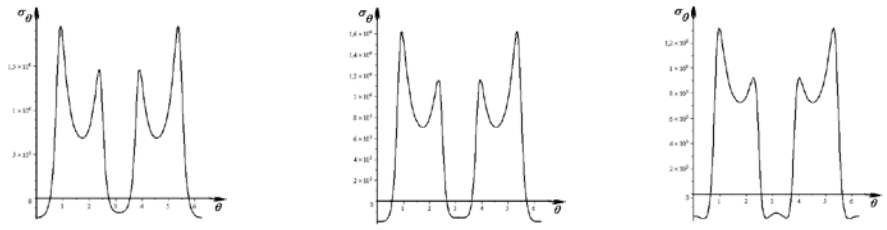
при $p_1 = 0$ т/м^2 имеем $\theta \in (0,\ 0{,}514) \cup (2{,}739,\ 3{,}544) \cup (5{,}769,\ 2\pi)$;

при $p_2 = 102$ т/м^2 имеем $\theta \in (0,\ 0{,}570) \cup (2{,}662,\ 3{,}621) \cup (5{,}713,\ 2\pi)$;

при $p_3 = 204$ т/м^2 имеем $\theta \in (0,\ 0{,}645) \cup (2{,}569,\ 3{,}714) \cup (5{,}638,\ 2\pi)$.

На остальных участках интервала $(0,2\pi)$ действуют сжимающие напряжения.

Эпюры тангенциальных нормальных напряжений для данной выработки трапециевидной формы поперечного сечения при заданных значениях равномерного давления $p_1 - p_3$ в случае $\mu = 0{,}25$ приведены на рис. 2.



а *б* *в*

Рис. 2. Эпюры нормальных тангенциальных напряжений на контуре в виде трапеции: *а* — при $p_1 = 0$ т/м^2; *б* — при $p_2 = 102$ т/м^2; *в* — при $p_3 = 204$ т/м^2

Выводы

1. Приведенные в статье формулы для нахождения величин нормальных тангенциальных напряжений, определения их нулей и экстремальных значений на контурах выработок различных форм поперечного сечения позволяют проводить исследование напряженного состояния выработок, испытывающих равномерное внутреннее всестороннее давление и находящихся на заданной глубине при известных значениях коэффициента бокового распора горной породы.

2. На примере выработки трапециевидной формы сечения при заданных значениях коэффициента бокового распора горной породы и значений равномерного давления, изменяющихся в диапазоне 0…204 т/м^2, выделены участки, на которых действуют растягивающие и сжимающие напряжения.

3. Проведенное исследование показывает, что при увеличении значений равномерного растяжения, приложенного в точках контура подземной горизонтальной выработки, ширина участков контура, на которых действуют растягивающие напряжения, постепенно увеличивается. Однако при заданном значении коэффициента бокового распора (μ = 0,25) останутся участки, на которых действуют сжимающие напряжения при любом сколь угодно большом значении равномерного растяжения контура выработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Цимбаревич П. М.* Механика горных пород. М. : Углетехиздат, 1948. 184 с.
2. *Глушко В. Т., Гавеля С. П.* Оценка напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. М. : Недра, 1986. 221 с.
3. *Турчанинов И. А., Иофис М. А., Каспарьян Э. В.* Основы механики горных пород. Л. : Недра, 1989. 488 с.
4. *Булычев Н. С.* Механика подземных сооружений. М. : Недра, 1989. 270 с.
5. *Aysen A.* Soil mechanics. Rotterdam, Netherlands : Balkana Publ., 2002. 459 p.
6. *Smith G. N., Smith I. G. N.* Elements of soil mechanics. Blackwell Science, 1998. 494 p.
7. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966. 708 с.
8. *Каландия А. И.* Математические методы двумерной упругости. М. : Наука, 1973. 304 с.
9. *Green A. E., Zerna W.* Theoretical elasticity. Oxford : Clareden Press, 1968. 457 p.
10. *Stevenson A. C.* Complex potential in two-dimensional elasticity // Proc. Roy. Soc. Ser. A. 1945. Vol. 184. No. 997. Pp. 129—179, 218—229.
11. Lu J. K. Complex Variable Methods in Plane Elasticity, 1995. 237 p.
12. *Ahlfors L. V.* Complex analysis. New York : McGraw-Hill, 1966. 317 p.
13. *Brown J. W., Churchill R. V.* Complex variables and applications. New York : McGraw-Hill, 2009. 482 p.
14. *Канторович Л. В., Крылов В. И.* Приближенные методы высшего анализа. М. : ГИТТЛ, 1962. 709 с.
15. *Фильчаков П. Ф.* Приближенные методы конформных отображений : справ. рук. Киев : Наукова думка, 1964. 536 с.
16. *Савин Г. Н.* Распределение напряжений около отверстий. Киев : Наукова думка, 1968. 888 с.
17. *Фильчакова В. П.* Конформные отображения областей специального типа : справ. рук. Киев : Наукова думка, 1972. 252 с.
18. *Gaier D.* Konstructive Methoden der konformen Abbildung. Berlin — Göttingen — Heidelberg : Springer — Verlag, 1964. 294 p.
19. *Цветков В. К.* Определение форм сечений горных выработок с заданными напряжениями на контурах // Физико-технические разработки полезных ископаемых. 1986. № 2. С. 24—29.
20. *Цветков В. К.* Расчет рациональных параметров горных выработок. М. : Недра, 1993. 251 с.
21. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н.* Методы теории функций комплексного переменного в задачах геомеханики. Волгоград : ВолгГАСУ : Перемена, 2014. 227 с.

22. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Определение глубины заложения горизонтальной выработки на основе анализа напряженного состояния вмещающего массива // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 5. С. 2—9.

23. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* О напряжениях в контурных точках одиночных подземных выработок различного поперечного сечения, подверженных всестороннему равномерному давлению // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Стр-во и архитектура. 2018. Т. 9. № 3. С. 54—70. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.3.06.

24. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Богомолова О. А.* О формуле для тангенциального нормального напряжения в точках границы бесконечной односвязной области // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 24—29.

25. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Ушаков А. Н.* Расчет экстремальных глубин заложения горизонтальных выработок различной формы на основе анализа напряженного состояния однородного вмещающего массива // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 52(71). С. 5—18.

26. *Ушаков А. Н.* О построении контуров подземных горизонтальных выработок различных форм поперечного сечения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 50—64.

© Ушаков А. Н., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Ушаков А. Н. О напряженном состоянии на контурах подземных горизонтальных выработок различных форм поперечного сечения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 55—69.

Об авторах:

Ушаков Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. математики и информатики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ushakov.andrej2012@yandex.ru

Andrei N. Ushakov

Volgograd State Technical University

ON THE STRESS STATE ON THE CONTOURS OF UNDERGROUND HORIZONTAL WORKINGS OF VARIOUS CROSS-SECTION FORMS

The paper presents the derivation of the tangential normal stress formula at the points of the contours of underground horizontal workings of various cross-sectional shapes obtained using a given mapping of function. Equations for finding zeroes and extreme values of tangential normal stress at the points of the working contours are given. Using the extreme of trapezoidal cross-section development, the problem of stress distribution at contour points at given values of uniform pressure and lateral expansion coefficient of rock is considered. Graphic representations of stress diagrams acting on the contours of the workings under consideration are presented.

K e y w o r d s: mapping function, lateral distribution coefficient, normal tangential stresses, underground horizontal production, uniform pressure.

For citation:

Ushakov A. N. [On the stress state on the contours of underground horizontal workings of various cross-section forms]. *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], 2021, iss. 4, pp. 55—69.

About author:

Andrei N. Ushakov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ushakov.andrej2012@yandex.ru

УДК 691:692.23

О. Г. Чеснокова, В. Д. Чеснокова, Т. Ф. Чередниченко, М. Д. Журбенко

Волгоградский государственный технический университет

ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАСЫПКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПУСТОТНЫХ КИРПИЧЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕНЫ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

Исследование посвящено анализу представленных в печати предложений по уменьшению теплопроводности наружных стен из керамического пустотного кирпича. Иногда эти предложения не обоснованы теплотехническим расчетом. В статье приведены результаты теплотехнического анализа засыпки пустот в керамических пустотных блоках легкими сыпучими утеплителями. В описании этого метода сказано, что таким образом улучшаются теплотехнические характеристики стены. Между тем в статье приводятся данные расчетов, наглядно показывающих несостоятельность этого конструктивного решения. Проанализированы конструктивные особенности керамических пустотных блоков, влияющие на их теплопроводность.

К л ю ч е в ы е с л о в а: керамический пустотный блок, вермикулит, перлит, засыпка пустот в керамическом блоке, теплопроводность материала, расчет температурных полей.

В российской строительной практике для возведения энергоэффективных зданий широко используются керамические многопустотные блоки с разным размером, количеством и формой пустот. Исследовалась их энергоэффективность [1—4], а также их прочностные и деформативные характеристики [3—6]. Активно изучалась форма и размеры пустот в керамических блоках и кирпичах [7—11]. Предлагались рекомендации по конструированию стен из керамических пустотных кирпичей с учетом зоны возможной конденсации влаги и перспектив их возможного разрушения [5—11].

Появилось множество предложений для дополнительного уменьшения теплопроводности наружных стен из керамических пустотных блоков [5, 12—14]. Значительная доля исследований посвящена предотвращению разрушения керамического кирпича вследствие образования конденсата внутри замкнутых воздушных камер внешнего слоя наружной стены [5, 7, 8].

Существуют предложения по засыпке стен из керамических пустотных блоков легкими сыпучими утеплителями [15, 16] (рис. 1). В описании этого метода сказано, что таким образом улучшаются теплотехнические характеристики стены. По мнению авторов, эти предложения не обоснованы теплотехническим расчетом.

В статье предложен теплотехнический анализ предложения по засыпке пустот в керамических пустотных блоках легкими сыпучими утеплителями, приводятся данные расчетов, наглядно показывающих несостоятельность этого конструктивного решения.

Данная статья написана в рамках научно-практической дискуссии и для привлечения научной общественности к поиску решений, способствующих реальному снижению теплопотерь в зданиях, а также к поиску решений по уменьшению образования количества конденсата внутри воздушных полостей керамического блока или кирпича.

Рис. 1. Засыпка пустот керамических блоков вспученным перлитом

Результаты исследования могут быть использованы для принятия решения о необходимости дополнительных финансовых, технологических и временных затрат при строительстве зданий.

Для расчетов смоделирована более простая конструкция стены из керамического кирпича. Упрощение расчетной схемы не влияет на полученные выводы.

В научной литературе большое внимание уделяется методам расчета температурно-влажностного режима пустотных блоков [17—24].

Задача решалась методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программы COMSOL Multiphysics[1] [25, 26]. Задачи, связанные с анализом теплотехнических параметров, наглядно показывают процессы, происходящие в ограждающих конструкциях [27—31].

Для моделирования выбрана конструкция стены, сложенная из пустотного керамического кирпича (рис. 2), толщиной 380 мм (рис. 3), оштукатуренная изнутри цементно-песчаным раствором в 15 мм.

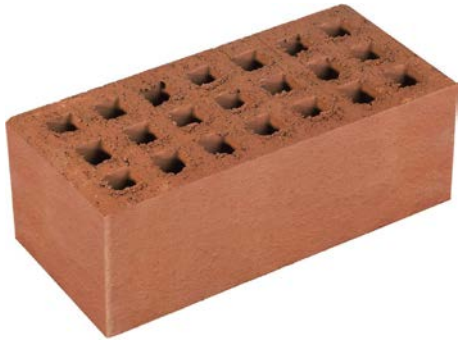


Рис. 2. Общий вид кирпича, принятого для расчетов: размер 250 × 120 × 88 мм; вес 3,5 кг; марка прочности М150; теплопроводность 0,420 Вт/(м · С); влагопоглощение 10…11 %

[1] Comsol v.4.3. Nonlinear Structural Materials Module. User's Guide.
Comsol v.4.3. Multiphysics. User's Guide.

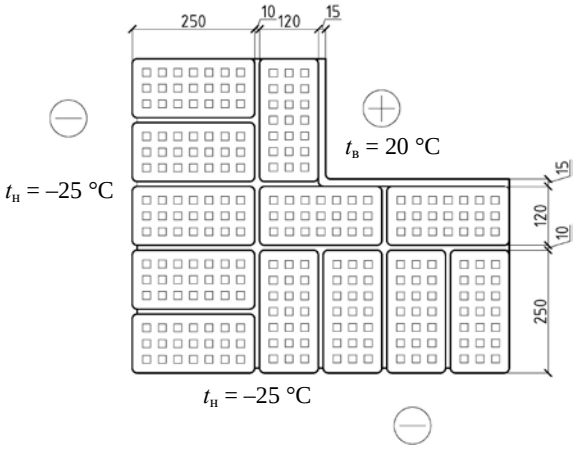


Рис. 3. Расчетная схема конструкции стены

Для сравнительного анализа было сделано несколько вариантов заполнения пустот в расчетной схеме, наглядно объясняющих физику процесса.

В расчетах приняты схемы:

с пустотами в кирпиче (без их заполнения чем-либо);

засыпкой пустот вспученным вермикулитом;

засыпкой пустот вспученным перлитом;

засыпкой пустот песком.

Характеристики используемых в расчетах материалов приведены в табл.

Теплофизические характеристики материалов

Материал	Плотность в сухом состоянии γ_o, кг/м^3	Удельная теплоемкость в сухом состоянии C, кДж/(кг · °С)	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м · °С)
Кирпич керамический	1600	880	0,42
Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865—67)	100	840	0,076
Песок из перлита вспученного (ГОСТ 10832—83)	400	840	0,087
Песок для строительных работ (ГОСТ 8736—77)	1600	840	0,47

При расчете учитывали следующие граничные условия (приняты по СП 50.13330.2012):

$t_в$ = 20 °С — температура внутреннего воздуха;

$t_н$ = –25 °С — температура наружного воздуха;

$\alpha_в$ = 8,7 Вт/(м^2 · °С) — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;

$\alpha_н$ = 23 Вт/(м^2 · °С) — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности.

Задача была рассчитана в стационарном режиме с неизменными теплофизическими свойствами материалов слоев [27—31].

Для проведения расчетов моделируется сетка конечных элементов [21—34] (рис. 4).

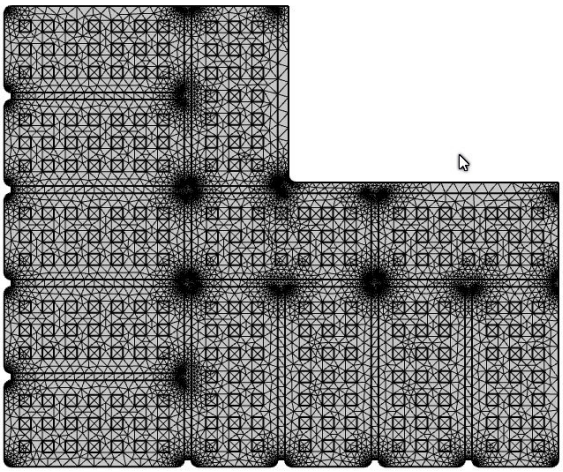


Рис. 4. Полученная сетка конечных элементов

Далее в программе получены результирующие эпюры температурных полей (рис. 5, 6).

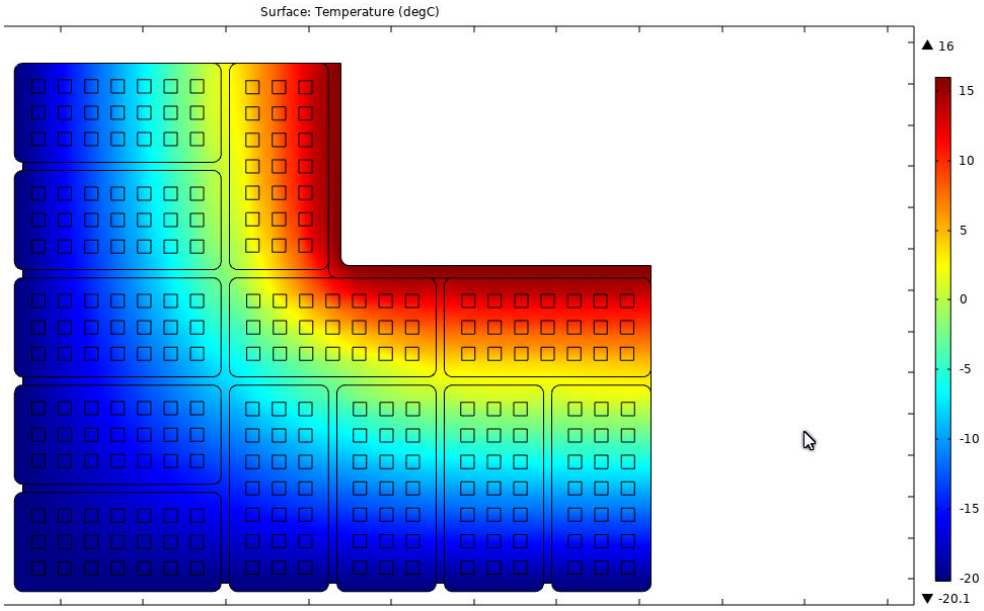


Рис. 5. Распределение температурных полей в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты ничем не заполнены, кроме воздуха

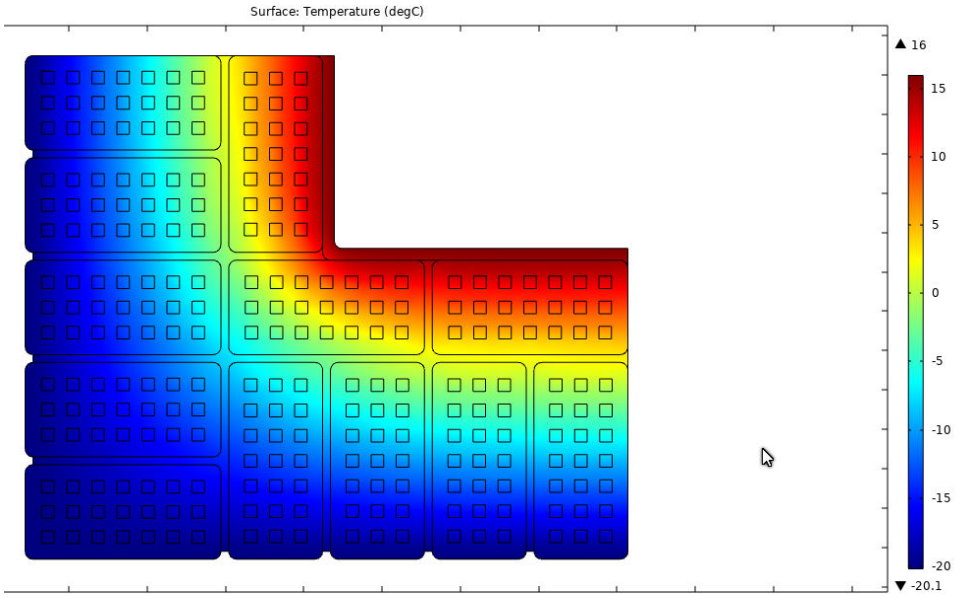


Рис. 6. Распределение температурных полей в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты заполнены вспученным вермикулитом (теплофизические характеристики материалов, использованных для расчетов, см. в табл.)

Как видно, между рис. 5 и 6 практически нет никакой разницы. Точно так же выглядит и графическое распределение температурных полей в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича, заполненного вспученным перлитом.

Далее в программе получены результирующие распределения температурных полей в зависимости от заполнения пустот (рис. 7—10).

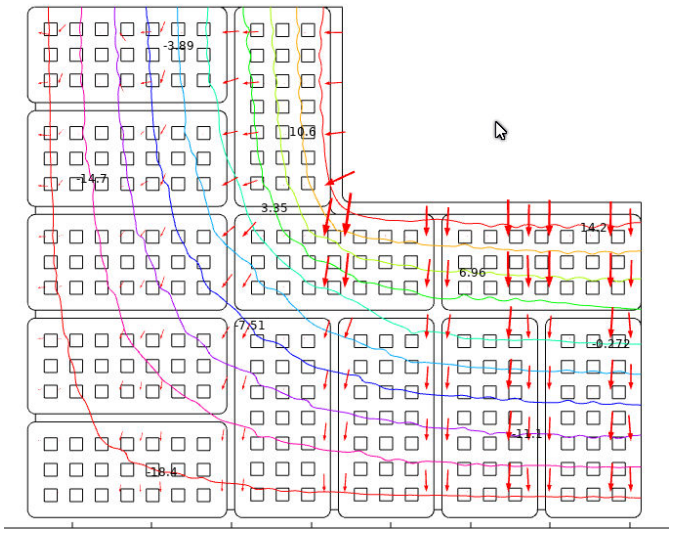


Рис. 7. Распределение температурных полей и направления основных теплопотерь с указанием температурных значений в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты ничем не заполнены, кроме воздуха

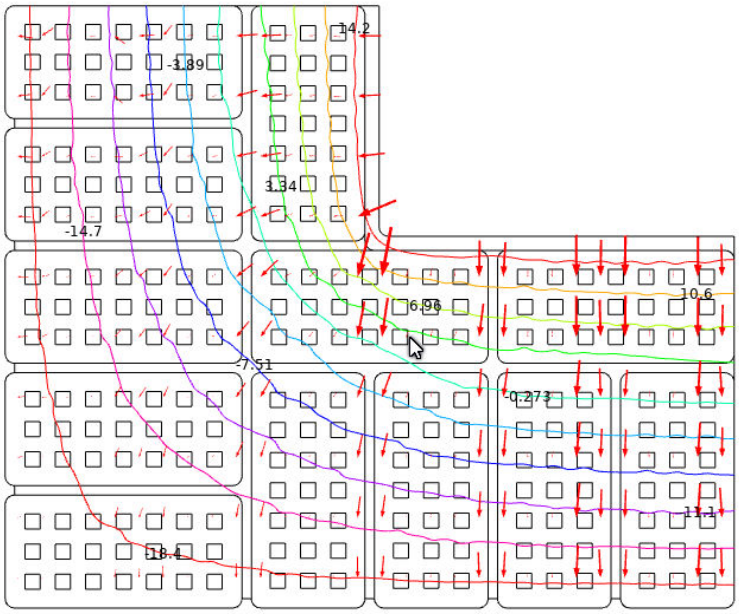


Рис. 8. Распределение температурных полей и направления основных теплопотерь с указанием температурных значений в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты заполнены вспученным вермикулитом

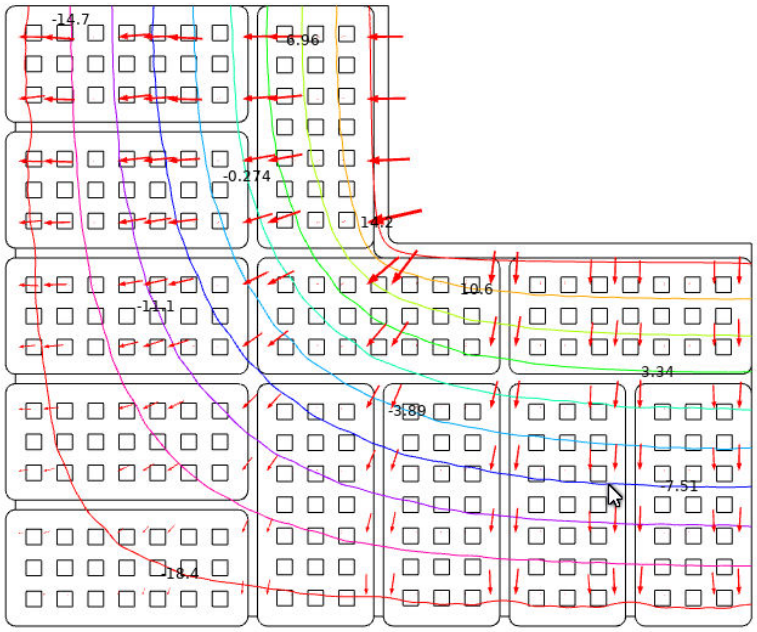


Рис. 9. Распределение температурных полей и направления основных теплопотерь с указанием температурных значений в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты заполнены вспученным перлитом

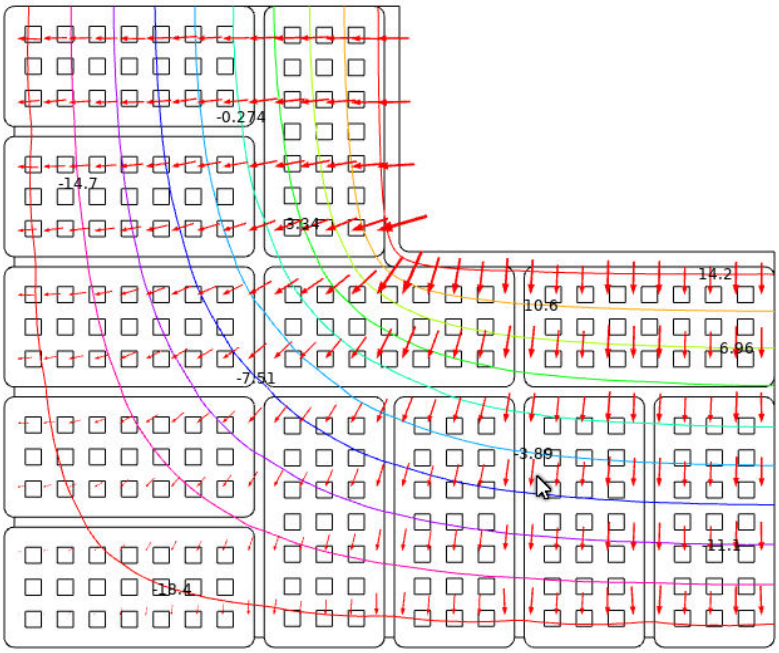


Рис. 10. Распределение температурных полей и направления основных теплопотерь с указанием температурных значений в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты заполнены обыкновенным песком

Распределение температурных полей на расчетных схемах с воздушными пустотами в кирпиче и с пустотами, заполненными различными сыпучими утеплителями, практически не отличается. Некоторое отличие есть на графике температурных полей в расчетной схеме с засыпкой пустот песком (см. рис. 10). Поля более плавные, так как песок близок по своим теплофизическим характеристикам к кирпичу. Данный тип засыпки, конечно, не имеет смысла, он повторяет стену из сплошного кирпича. В данном расчете этот вариант был взят для наглядности обсуждаемого вопроса.

Далее представлены расчетные схемы, детально показывающие процессы, происходящие в кирпиче (рис. 11—13). Для наглядности принята стена в один кирпич, оштукатуренная изнутри цементно-песчаным раствором.

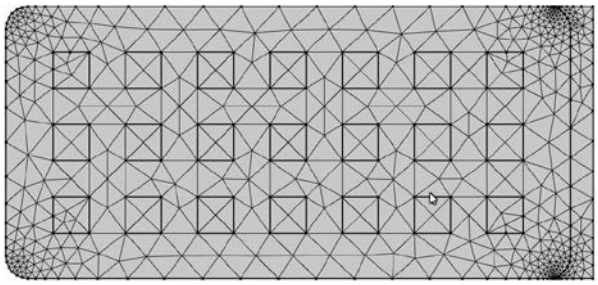


Рис. 11. Полученная сетка конечных элементов

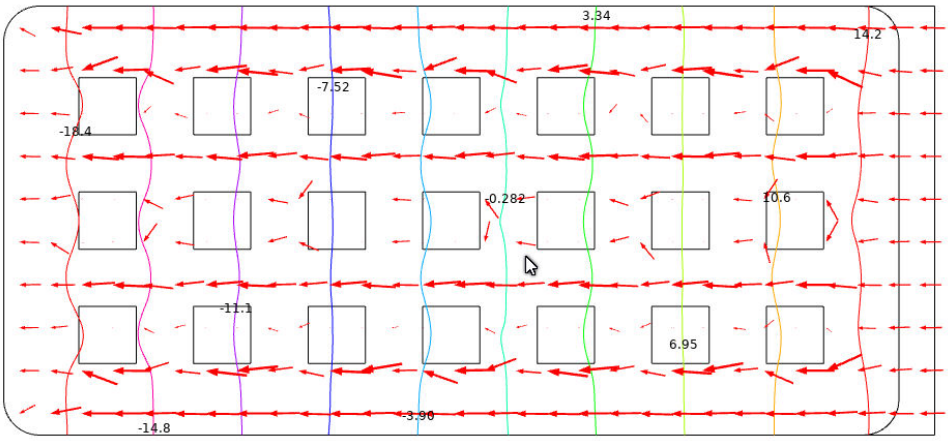


Рис. 12. Распределение температурных полей и направления основных теплопотерь с указанием температурных значений в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты ничем не заполнены, кроме воздуха

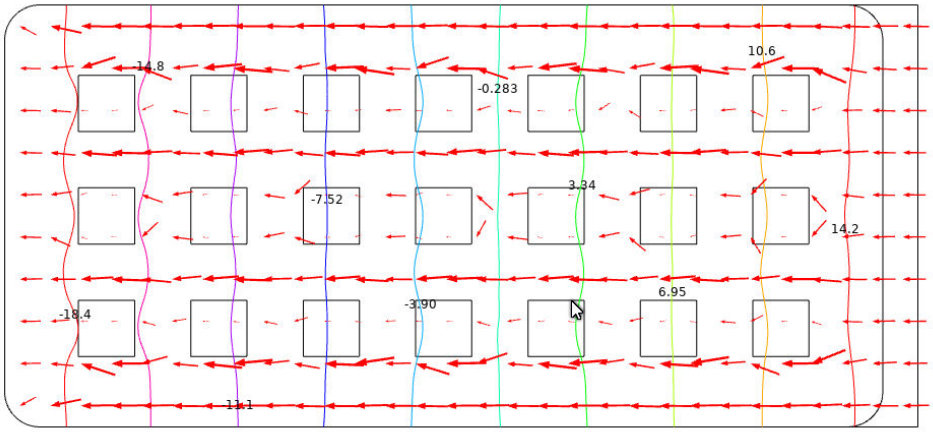


Рис. 13. Распределения температурных полей и направления основных теплопотерь с указанием температурных значений в стене, сложенной из керамического пустотного кирпича. Пустоты заполнены вспученным вермикулитом

Полости с замкнутым воздухом в керамическом кирпиче можно трактовать как последовательное расположение теплопередающих поверхностей. Зоны воздуха, примыкающие к слоям из керамики, являются пограничными. Если через такой кирпич проходит тепловой поток, то на каждом пограничном слое температура меняется с учетом коэффициента теплоотдачи $\Delta t_{\text{н}}$ (разность температур поверхности тела и воздуха, омывающего эту поверхность). Учитывая это, тепловые потоки проходят через определенное количество слоев. Логично предположить, что чем больше пустот, тем теплее стена [10, 14].

На представленных схемах (см. рис. 11—13) видно, что основная теплопередача происходит по основным ребрам кирпича [4—11].

Коэффициент теплопроводности замкнутой воздушной прослойки варьируется от размера полости и направления потока тепла в пределах 0,14…0,17 Вт/(м^2 · °С). Коэффициент теплопроводности вермикулита 0,076 Вт/(м^2 · °С). Коэффициент теплопроводности перлита 0,087 Вт/(м^2 · °С). Казалось бы, теплопроводность воздуха в два раза меньше. Но, исходя из расчета, видно, что это практически не оказывает никакого действенного значения. Основной тепловой поток проходит по теплопроводному материалу (стенкам и ребрам кирпича, а также по связующему кирпичи раствору) [26]. Пустоты или теплоэффективные включения (перлит и вермикулит) дают лишь незначительные задержки в прохождении теплового потока.

Таким образом, напрашивается логический вывод: если передача тепла происходит по ребрам, необходимо сосредоточиться на изучении расположения и размеров этих ребер [5—14].

В этой области проведено множество экспериментальных исследований и разработаны различные эффективные формы пустот [3—11].

Известны пустотелые лицевые керамические кирпичи, имеющие внутреннюю многопустотную конструкционно-изоляционную структуру, включающую продольные и поперечные керамические стенки и параллельные ряды смещенных относительно друг друга в соседних рядах сквозных пустот прямоугольного сечения. Данные лицевые керамические кирпичи при использовании в облицовке наружных стен здания, за счет наличия большого количества мелких сквозных пустот, обеспечивают повышенные теплозащитные свойства вследствие достаточно высокого процента пустотности. Но при традиционном методе кладки облицовочного слоя наружной стены здания, когда лицевые кирпичи располагают с преобладанием ложковых рядов, т. е. перпендикулярно направлению теплового потока, указанная преимущественная ориентация сквозных пустот кирпича, параллельная его тычковой грани, будет способствовать беспрепятственному прохождению тепла через тело кирпича по его керамическим перегородкам и перемычкам, расположенным в этом случае параллельно направлению теплового потока, что, в свою очередь, приведет к снижению теплоизоляционных свойств лицевого кирпича по его ширине (рис. 14).

Рис. 14. Общий вид лицевого кирпича

Кроме того, наличие крупных основных сквозных пустот способствует заполнению их строительным раствором, присутствие которого в пустотах приводит к увеличению расхода этого раствора, а также к снижению теплоизоля-

ционных свойств лицевого кирпича и, следовательно, к снижению теплозащитных качеств стен, так как теплопроводность цементного раствора значительно выше теплопроводности пустотных материалов и воздуха в пустотах.

Повышения теплоизоляционных свойств пустотелого лицевого керамического кирпича при сохранении повышенной пустотности можно добиться за счет снижения теплопроводности по ширине пустотелого лицевого керамического кирпича и снижения вероятного попадания строительного раствора в большом количестве в его пустоты, развернув направление длинной стороны пустот перпендикулярно тепловому потоку.

Увеличение размеров основных сквозных пустот также может привести к увеличению вероятности попадания большого количества строительного раствора в его сквозные пустоты, что снизит теплоизоляционные свойства данного лицевого кирпича и увеличит расход строительного раствора. Уменьшение размеров указанных керамических стенок приведет к снижению морозоустойчивости и прочности [4].

При проектировании стен из пустотного кирпича необходимо прежде всего учитывать возможность образования конденсата в замкнутых воздушных прослойках, приводящего к постепенному разрушению кирпича [5—11]. Расчет тепловлажностного режима с поиском конкретного участка зоны конденсации позволит смоделировать скорость разрушения наружного слоя стены.

Движение теплового потока в кирпиче с разным направлением пустот относительно длинной стороны кирпича показано на рис. 15 и 16.

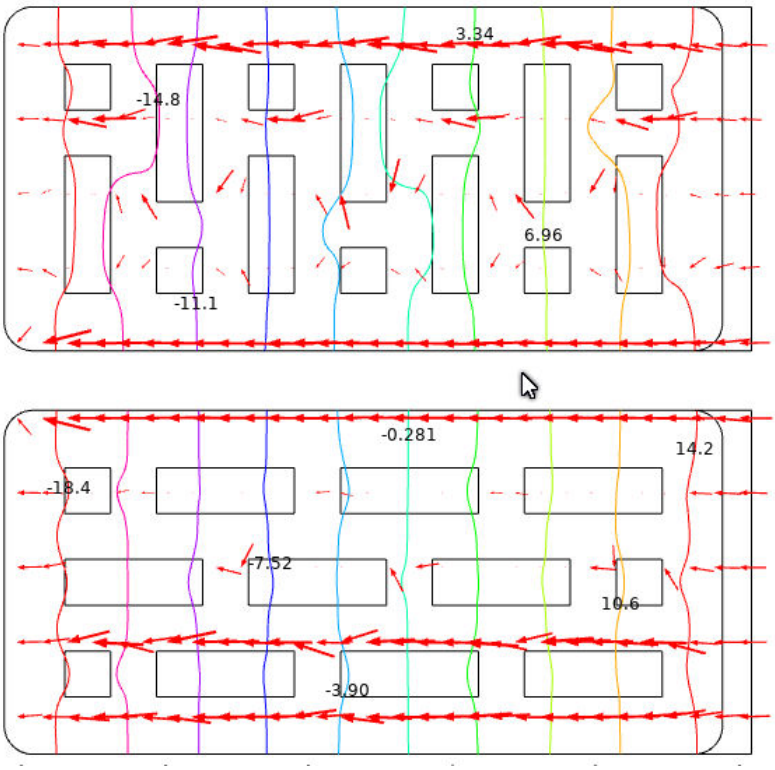


Рис. 15. Распределение температурных полей в кирпиче с разным направлением пустот. Пустоты ничем не заполнены, кроме воздуха

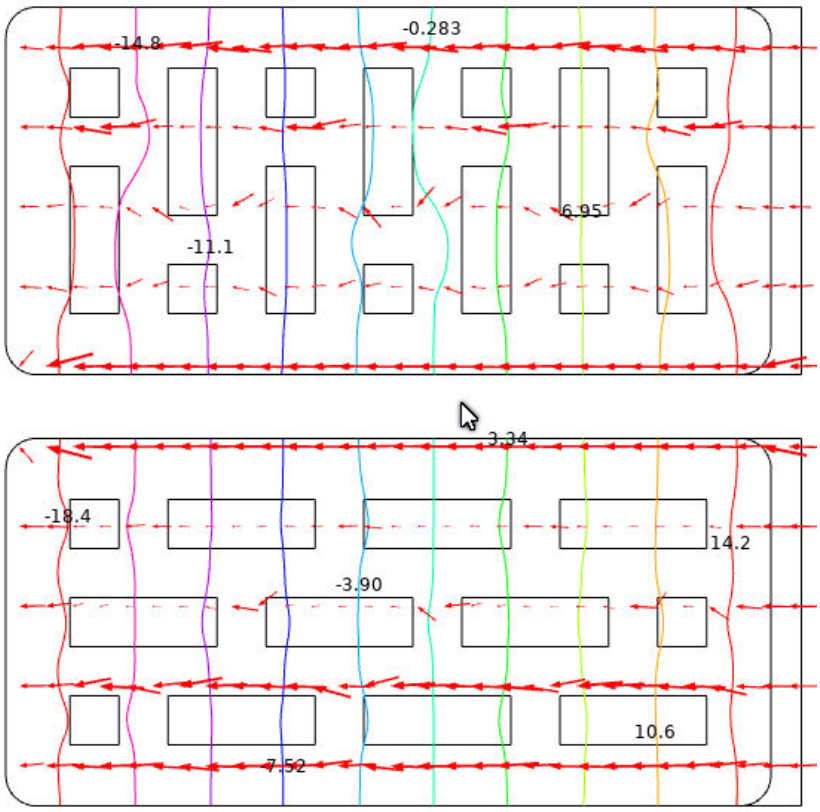


Рис. 16. Распределение температурных полей в кирпиче с разным направлением пустот. Пустоты заполнены вермикулитом

Исходя из представленных выше схем распределения температурных полей в стене (см. рис. 15 и 16), видно, что наличие сыпучего заполнителя или его отсутствие никак не влияет на распределение температур в кирпиче. Решающим является лишь направление расположения и эффективная форма пустот. При создании извилистого пути теплового потока можно снизить теплопроводность кирпича [5, 10, 11].

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. На теплотехнические характеристики керамического кирпича прежде всего оказывают влияние расположение и форма пустот.

2. Увеличение или уменьшение размеров пустот влияет на морозостойкость, прочность и теплопроводность кирпича.

3. При проектировании стен из пустотного кирпича необходимо учитывать возможность образования конденсата в замкнутых воздушных прослойках, приводящего к постепенному разрушению кирпича.

4. Расчет тепловлажностного режима с поиском конкретного участка зоны конденсации позволит смоделировать скорость разрушения наружного слоя стены.

5. Наличие засыпок в пустотных кирпичных стенах не приводит к увеличению теплозащитных качеств, такая стена по своим характеристикам лишь дублирует стену из сплошного кирпича.

6. Использование засыпок в пустотных кирпичных стенах экономически нецелесообразно, так как засыпка увеличивает стоимость строительства.

7. Использование засыпок технологически неэффективно и приводит к увеличению сроков возведения здания.

Таким образом, следует сделать итоговый вывод: создание засыпок в стенах из керамических пустотных кирпичей нецелесообразно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ващенко Д. А., Тарасюк П. Н., Трубаев П. А.* Сравнение расчетных и фактических теплотехнических характеристик ограждающих конструкций по результатам лабораторных испытаний // Наукоемкие технологии и инновации. Белгород : Белгор. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2014. С. 163—167.

2. *Ивахин С. Ю., Иванкина О. П., Печников А. С.* Сравнительный анализ полистиролбетонных блоков с конкурентами, представленными на строительном рынке // Новые технологии в науке, образовании, производстве : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Рязань, 2017. С. 574—579.

3. *Соколов Б. С., Антаков А. Б., Фабричная К. А.* Исследования кладок из пустотелого кирпича 1,4 НФ // Изв. Казан. гос. архитектур.-строит. ун-та. 2009. № 2(12). С. 134—139.

4. *Лобов О. И., Ананьев А. И., Ананьев А. А.* Эксплуатационные качества ограждающих конструкций // Градостроительство. 2010. № 4. С. 61—65.

5. *Ананьев А. А.* Повышение долговечности лицевого керамического кирпича и камня в наружных стенах зданий : автореф. дис. … канд. техн. наук. М., 2007.

6. *Ананьев А. И., Рымаров А. Г., Титков Д. Г.* Теплотехнические свойства и долговечность наружных облицовочных слоев кирпичных стен зданий // Пром. и гражд. стр-во. 2021. № 7. С. 22—30.

7. *Ананьев А. И.* Долговечность наружных стен зданий, облицованных керамическими материалами // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строит. теплофизика. 2019. № 5. С. 52—57.

8. *Ананьев А. И.* Долговечность, влажностный режим и теплозащитные свойства наружных стен зданий из пустотелого кирпича // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строит. теплофизика. 2018. № 3. С. 70—73.

9. *Ананьев А. И., Лобов О. И.* Керамический кирпич и его место в современном строительстве // Пром. и гражд. стр-во. 2014. № 10. С. 62—64.

10. *Ананьев А. И., Ананьев А. А.* Долговечность и энергоэффективность наружных стен из облегченной кирпичной кладки // Academia. Архитектура и стр-во. 2010. № 3. С. 352—356.

11. *Ананьев А. А.* Повышение надежности и безопасности наружных стен зданий и сооружений, облицованных кирпичом // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 6(161). С. 34—35.

12. Пустотелый лицевой керамический кирпич, камень : пат. RU 18548 U1 Рос. Федерация № 2000128278/20 ; заявл. 14.11.2000 ; опубл. 27.06.2001 / Л. В. Иванов, В. М. Комов, А. А. Буланцев.

13. Строительный пустотный камень : пат. RU 129957 U1 Рос. Федерация № 2012155444/03 ; заявл. 19.12.2012 ; опубл. 10.07 / В. П. Валуйских, К. В. Лисенков, С. В. Стрижова, И. В. Лескина.

14. Пустотный кирпич : пат. RU 94246 U1 Рос. Федерация № 2010100205/22 ; заявл. 11.01.2010 ; опубл. 20.05.2010 / В. А. Перфилов, В. И. Лепилов.

15. *Арбузова А. А., Середкин Д. А.* Оценка возможности применения керамических блоков с наполнением полостей пеностекольным утеплителем в качестве теплоизоляционных материалов // Техносферная безопасность. Современные реалии : сб. материалов регион. науч.-практ. конф. / Под ред. Н. Х. Месробян. Махачкала, 2018. С. 17—20.

16. *Арбузова А. А.* К вопросу о совершенствовании в области строительства энергоэффективных зданий и сооружений // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций : сб. науч. тр. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. Курск, 2019. С. 50—53.

17. *Kočí J., Maděra J., Černy R.* A fast computational approach for the determination of thermal properties of hollow bricks in energy-related calculations // Energy. 2015. Vol. 83. Pp. 749—755.

18. *Kočí V., Bažantova Z, Černy R.* Computational analysis of thermal performance of a passive family house built of hollow clay bricks // Energy And Buildings. 2014. Vol. 76. No. 1. Pp. 211—218.

19. Monitoring thermal performance of hollow bricks with different cavity fillers in difference climate conditions / Z. Pavlik, J. Fort, R. Černy, M. Jerman // International Journal of Thermophysics. 2014. Vol. 36. No. 2-3. Pp. 557—568.

20. *Cuce P. M., Cuce E., Sudhakar K.* A systematic review of thermal insulation performance of hollow bricks as a function of hollow geometry // International Journal of Ambient Energy. 2021. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01430750.2021.1907619.

21. Impact factors analysis on the thermal performance of hollow block wall / Y. Zhang, K. Du, J. He, L. Yang // Energy and Buildings. 2014. Vol. 75. Pp. 330—341.

22. Effect of geometry of holes on heat transfer of concrete masonry bricks using numerical analysis / A. Al-Tamimi, M. Al-Osta, O. S. Baghabra Al-Amoudi, R. Ben-Mansour // Arabian Journal for Science and Engineering. 2017. Vol. 42. No. 9. Pp. 3733—3749.

23. Computational assessment of thermal performance of contemporary ceramic blocks with complex internal geometry in building envelopes / J. Koči, J. Maděra, R. Černy, Jerman M. // Energy and Buildings. 2015. Vol. 99. Pp. 61—66.

24. *Bouchaib J.* Numerical investigation of combined heat transfer through hollow brick walls // European Physical Journal Plus. 2020. Vol. 135. No. 10.

25. *Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В.* Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. М. : НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.

26. *Телегин А. С.* Тепло-массоперенос. М. : Металлургия, 1995. 400 с.

27. *Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д.* Исследование температурных режимов краевых зон многослойной ограждающей конструкции здания // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1(78). С. 58—66.

28. *Чередниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Полухин Н. Д.* Сравнительный анализ температурных режимов многослойной ограждающей конструкции кровли здания в зависимости от положения слоев утеплителя // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 4(81). С. 249—258.

29. *Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чеснокова М. Д.* Сравнительный анализ накопления влаги в конструкции стены в зависимости от типа теплоизоляции // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 4(81). С. 259—267.

30. *Чеснокова О. Г.* Сравнительный анализ влагонакопления в ограждающей конструкции в зависимости от расположения слоя утеплителя // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 47(66). С. 51—60.

31. *Чеснокова О. Г.* Анализ влагонакопления в пенобетонном блоке // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 47(66). С. 70—81.

© Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чередниченко Т. Ф., Журбенко М. Д., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Чеснокова О. Г., Чеснокова В. Д., Чередниченко Т. Ф., Журбенко М. Д. Проверка эффективности засыпки керамических пустотных кирпичей для повышения теплозащитных характеристик стены расчетным методом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 70—83.

Об авторах:

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

Чеснокова Варвара Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; varvarachesnok2013@yandex.ru

Чередниченко Татьяна Федотовна — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; tati_cher@mail.ru

Журбенко Марина Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Marina970504@yandex.ru

Oksana G. Chesnokova, Varvara D. Chesnokova, Tatyana F. Cherednichenko, Marina D. Zhurbenko

Volgograd State Technical University

CHECKING THE EFFICIENCY OF FILLING CERAMIC EMPLOYED BRICKS TO INCREASE THE HEAT PROTECTION CHARACTERISTICS OF THE WALL BY THE CALCULATION METHOD

The study is devoted to the analysis of proposals presented in the press to reduce the thermal conductivity of exterior walls made of ceramic hollow bricks. Sometimes these proposals are not justified by a thermal calculation. The article offers a thermal analysis of filling voids in ceramic hollow blocks with light bulk insulation. The description of this method says that in this way the thermal characteristics of the wall are improved. The article presents the data of calculations that clearly show the inconsistency of this constructive solution. The design features of ceramic hollow blocks affecting their thermal conductivity are analyzed.

K e y w o r d s: ceramic void block, vermiculite, perlite, filling of voids in a ceramic block, thermal conductivity of the material, calculation of temperature fields.

For citation:

Chesnokova O. G., Chesnokova V. D., Cherednichenko T. F., Zhurbenko M. D. [Checking the efficiency of filling ceramic employed bricks to increase the heat protection characteristics of the wall by the calculation method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 70—83.

About authors:

Oksana G. Chesnokova — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; oxxxana72@yandex.ru

Varvara D. Chesnokova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; varvarachesnok2013@yandex.ru

Tatyana F. Cherednichenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tati_cher@mail.ru

Marina D. Zhurbenko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Marina970504@yandex.ru

УДК 624.131.1:624.131.22

Е. В. Щекочихина, Ю. И. Олянский

Волгоградский государственный технический университет

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ ДНЕСТРОВСКО-ПРУТСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

На основе комплексных исследований геологического строения территории Днестровско-Прутского междуречья, состава и свойств лессовых грунтов и анализа опыта строительства на просадочных грунтах разработаны рекомендации по борьбе с просадочностью лессовых оснований для каждого инженерно-геологического района междуречья.

К л ю ч е в ы е с л о в а: лессовые грунты, просадочность, послепросадочное уплотнение, инженерно-геологическое районирование, борьба с просадочностью при строительстве.

Лессовые грунты обладают рядом специфических особенностей, из которых наиболее характерной является просадочность. Под просадочностью понимается способность лессового грунта, находящегося в напряженном состоянии от действия собственного веса или внешней нагрузки, при замачивании проявлять дополнительные осадки. Процесс просадки следует рассматривать как сложное взаимодействие воды и структуры грунта, в результате чего структура полностью или частично разрушается и грунт уплотняется за счет уменьшения общего объема пор. Поверхность грунта оседает, вызывая деформацию зданий. Лессовый грунт после просадки приобретает новую структуру и получает достаточно высокую несущую способность.

Процесс просадки начинает проявляться лишь тогда, когда лессовый грунт получает известное увлажнение (критическую влажность) и имеется достаточное давление от внешней нагрузки и собственного веса грунта или только от собственного веса грунта (начальное давление просадочности). Эти два фактора — влажность и давление — между собой тесно связаны. Каждому давлению на грунт соответствует определенная величина влажности, при которой начинает проявляться просадка. Схематично процесс просадки можно понимать как ослабление структурных связей при повышении влажности лессового грунта, а действие нагрузки — как силу, разрушающую эти связи и саму структуру грунта. Отсюда следует, что критическая влажность и начальное давление просадочности являются основными критериями просадки.

Под начальным давлением просадочности понимается то минимальное значение вертикального давления на грунт, при котором начинают проявляться ощутимые просадочные деформации, т. е. при относительной просадочности свыше 0,01.

Величина критической (или начальной) влажности и начальное давление просадочности имеют первостепенное значение для решения вопросов технической мелиорации лессовых грунтов. Эти показатели используются для следующих целей:

а) определение величины давления на лессовый грунт, при котором просадка от нагрузки фундаментов будет отсутствовать;

б) определение глубины деформируемой зоны, в пределах которой происходит просадка грунта от нагрузки фундаментов;

в) установление необходимой глубины уплотнения лессовых грунтов или толщины песчаной подушки, полностью устраняющих просадку в грунтах I типа просадочности;

г) определение глубины, с которой начинается просадка грунта от собственного веса в лессовых толщах II типа просадочности;

д) расчет возможных величин просадок фундаментов и лессовых толщ от их собственного веса и во многих других случаях.

Для технической мелиорации лессовых грунтов, выбора методов уплотнения и закрепления грунтов, разработки проектных решений по выбранным методам и ряду других вопросов существенное значение имеет представление об общем характере развития просадок в толщах лессовых грунтов. Просадка лессового грунта в основании зданий и сооружений разделяется на три характерные зоны (рис. 1).

Зона I — деформируемая, в которой просадка происходит под совместным действием нагрузки фундамента и собственного веса грунта. Эта зона располагается от подошвы фундамента до некоторой глубины, где вертикальные напряжения от нагрузки фундамента и собственного веса грунта меньше величины начального давления просадочности.

Зона II — нейтральная. В этой зоне просадочные деформации отсутствуют, так как вертикальные напряжения в ней меньше начального давления просадочности, при котором начинается просадка.

Зона III — зона просадки лессового грунта под действием собственного веса.

В соответствии с вышерассмотренным общим характером развития просадок в лессовых толщах грунтовые условия (в зависимости от возможности проявления просадки под влиянием собственного веса грунтов при их замачивании) подразделяются на два типа (СНиП 2.02.01-83):

I тип грунтовых условий — в лессовых грунтах просадка от действия собственного веса практически отсутствует или ее величина не превышает 5 см. Просадка возможна только в деформируемой зоне от нагрузки фундаментов.

II тип грунтовых условий — в лессовых толщах, наряду с просадкой в деформируемой зоне от нагрузки фундаментов, просадки проявляются также в зоне III, их величина превышает 5 см.

Определяющим условием для строительства зданий и сооружений на лессовых грунтах является их разделение на просадочные и непросадочные. Строительство на непросадочных лессовых грунтах проводится согласно действующим нормативам, как на обычных глинистых основаниях. Иное дело — строительство на просадочных лессовых грунтах. При этом необходимо учитывать возможность замачивания лессовых грунтов в основании фундаментов и предусматривать меры по предупреждению деформаций строительных конструкций.

Для обеспечения прочности и устойчивости зданий и сооружений на просадочных лессовых грунтах применяются следующие мероприятия:

а) защита грунтов основания от замачивания или резкого повышения их влажности (водозащитные мероприятия);

б) устранение просадочных свойств лессовых грунтов;

в) конструктивное усиление пространственной жесткости зданий и сооружений и приспособление их к неравномерным просадкам грунтов в основании, а также полная или частичная прорезка просадочных грунтов сваями или опорами, исключающими влияние просадочных грунтов на осадки фундаментов.

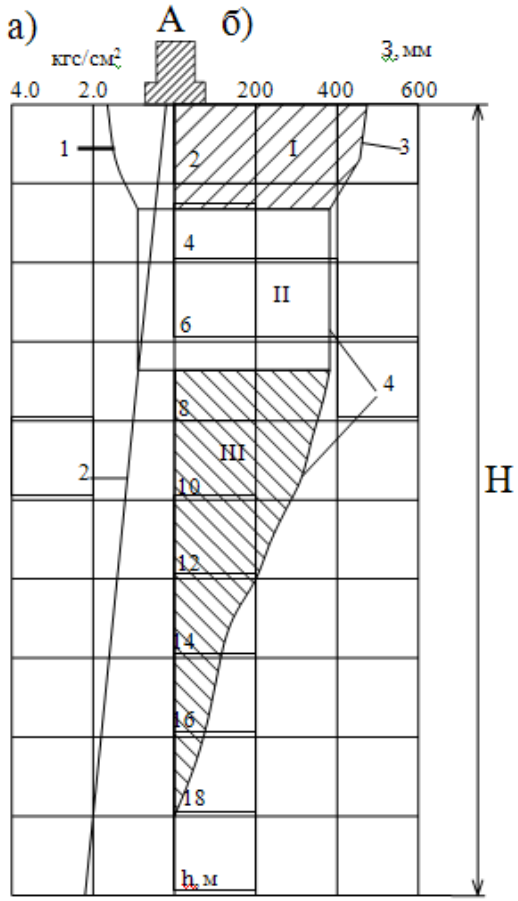


Рис. 1. Зоны деформации просадочной лессовой толщи под фундаментом А: *а* — изменение вертикальных напряжений в грунте по глубине; *б* — величина просадки по глубине; *1* — дополнительные напряжения от нагрузки фундамента; *2* — напряжения от собственного веса грунта; *3* — просадка от нагрузки фундамента и веса грунта; 4 м — просадка от собственного веса грунта; I, II и III — зоны: деформируемая, нейтральная и просадки грунта от собственного веса; *H* — мощность просадочных грунтов

Выбор рационального комплекса мероприятий производится с учетом характера лессовых просадочных грунтов, конструктивных особенностей зданий и сооружений, вероятности замачивания оснований фундаментов, а также местных условий строительства и технико-экономического обоснования способа борьбы с просадочностью для каждого конкретного случая.

Выбор метода улучшения лессовых грунтов для промышленно-гражданского строительства начинается со специальных инженерно-

геологических изысканий. При уплотнении лессовых оснований используются результаты изысканий, проведенных на выбранном варианте. Дополнительных изысканий не проводят. Изысканиями устанавливают геологическое строение и гидрогеологические условия участка, основные физико-механические характеристики грунтов.

Наивысшим эффектом применения методов улучшения следует считать полное устранение просадочных свойств в пределах всей толщи просадочных грунтов. Это исключает возможность проявления просадки, и здания (сооружения) могут строиться без каких-либо дополнительных мероприятий, как на обычных непросадочных глинистых грунтах.

Достижение такого эффекта вполне осуществимо, но в ряде случаев сдерживается экономическими соображениями, хотя следует отметить, что небольшая экономия, полученная в период строительства, может впоследствии обернуться большими убытками, когда здание в результате аварийных деформаций потребует огромных средств на восстановление.

Устранение просадочных свойств в пределах лишь части толщи просадочных грунтов (под подошвой фундаментов) дает возможность строить здания также без дополнительных мероприятий, но при условии, что это грунты I типа просадочности и величина их начального давления просадочности превышает сумму природного и дополнительного давления от здания.

В остальных случаях необходимо предусматривать полный комплекс дополнительных мероприятий (водозащитных и конструктивных).

В основе выбора метода (группы методов) улучшения свойств лессовых грунтов должны быть заложены:

- тип грунтовых условий по просадочности;
- мощность слоя просадочного грунта;
- возможная величина просадки и начальное просадочное давление;
- региональные особенности лессовых грунтов;
- конструктивное решение и целевое назначение здания и сооружения.

При этом необходимо учитывать, что выбранный метод не следует механически переносить из одного района страны в другой без глубокого анализа местных особенностей лессовых грунтов и творческого подхода к самому методу. В противном случае это может привести к ошибочным выводам.

Все существующие методы улучшения свойств лессовых грунтов (или методы, устраняющие просадочные свойства) с известной условностью можно разделить на две основные группы: методы преобразования грунтов механическим воздействием (методы механического уплотнения) и методы физико-химического закрепления грунтов (методы физико-химического закрепления).

Механическое воздействие. Методы механического уплотнения приводят к уплотнению лессовых грунтов, придают им устойчивость, устраняют в зоне уплотнения просадочные свойства. Уплотнение грунтов не приводит к возникновению нового типа структурных связей, но усиливает существующие факторы структурного сцепления. Методы механического устранения просадочных свойств получили широкое распространение в строительстве, особенно уплотнение тяжелыми трамбовками грунтовыми сваями и грунтовыми подушками.

Широкому их внедрению способствуют низкая стоимость и сравнительно простое производство работ.

Уплотнение тяжелыми трамбовками. Уплотнение лессового грунта производится в строительном котловане с помощью плиты или другого трамбовочного снаряда, подвешенного к переоборудованным экскаваторам, копрам или кранам и сбрасываемого с определенной высоты. Уплотнение лессового грунта осуществляется по всей площади будущих зданий или сооружений, в некоторых случаях — в траншеях, вдоль осей, по которым должны быть расположены фундаменты. Уплотнение тяжелыми трамбовками в основном рекомендуется при строительстве на грунтах I типа просадочности. Это резко снижает величины возможных просадок или даже полностью устраняет просадочность от нагрузки фундаментов в пределах деформируемой зоны. При большой глубине деформируемой зоны, значительно превышающей глубину уплотнения, поверхностное уплотнение можно осуществлять в комбинации с устройством грунтовой подушки необходимой толщины. При грунтах II типа просадочности одно трамбование не дает желаемого эффекта, и его необходимо обязательно сочетать с другими методами, позволяющими устранять просадочность в нижележащих слоях лессовых толщ (предварительное замачивание, грунтовые сваи и т. п.) [1—3].

Вытрамбовывание котлованов (траншей). По своему содержанию метод близок к методу уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками, но уплотнение грунта производится не на дне котлована, а с поверхности земли. С помощью падающей специальной трамбовки котлованы под фундаменты вытрамбовываются на необходимую глубину в виде прямоугольных траншей конической либо какой-нибудь другой формы. В основании котлованов образуется слой уплотненного грунта на глубину до 1,7d (d — диаметр трамбовки). В ряде случаев в целях дальнейшего повышения несущей способности такого основания в него дополнительно втрамбовывается песок. Таким образом, при вытрамбовывании котлованов сочетаются два процесса: разработка котлована и уплотнение грунта в его основании. Кроме повышения своей несущей способности, уплотненный грунт утрачивает просадочные свойства в пределах деформируемой зоны и приобретает низкую сжимаемость.

Уплотнение грунта давлением фундаментов. Осадки зданий определяются величиной уплотнения грунтов оснований в деформируемой зоне. При замачивании грунтов I типа в этой же зоне происходит просадочный процесс. Величина осадки (просадки) зависит от площади фундаментов, удельной нагрузки на основание и физико-механических свойств грунтов деформируемой зоны. Исследователями А. И. Догадайло и Ю. Ф. Тугаенко были разработаны специальные конструкции фундаментов — ребристые, кессонные, узкие (шпальные). Эти фундаменты передают на основания повышенные удельные нагрузки, что приводит к быстрому и значительному уплотнению грунтов в деформируемой зоне. Это позволяет в условиях слабопросадочных грунтов I типа уменьшить или даже исключить дополнительные осадки, которые могут возникнуть вследствие замачивания грунтов. Для лучшего и более быстрого задавливания фундаментов грунт необходимо увлажнять примерно до 20 % (рис. 2).

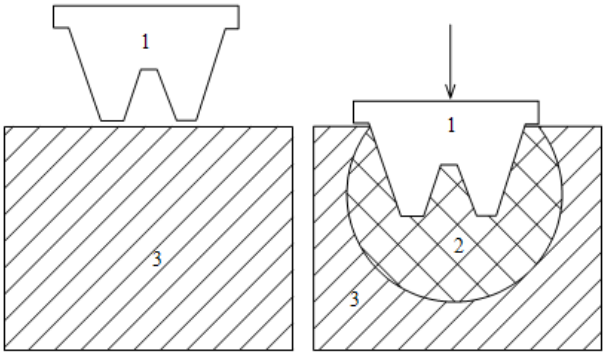


Рис. 2. Уплотнение лессовых грунтов давлением ребристых фундаментов: *1* — ребристый фундамент; *2* — уплотненный грунт; *3* — просадочный грунт

Песчаные подушки применяются в лессовых грунтах I типа просадочности, главным образом на слабопросадочных грунтах. Котлованы (траншеи) отрываются глубже отметки подошвы будущих фундаментов. На дно котлована по расчету отсыпается слой песка (1,0…3,0 м). При определении толщины подушки необходимо исходить из того условия, чтобы полное давление на основание подушки не превышало начального просадочного давления лессового грунта. Это резко уменьшает или даже исключает просадку грунта при его возможном замачивании. Ширина песчаной подушки при условии исключения просадочных деформаций в окружающем ее лессовом грунте назначается в зависимости от давления в подошве фундамента и составляет менее 1,6 его толщины. Особое внимание следует обращать на однородность и плотность песка. Отсыпку песка следует производить послойно (20…40 см), с достаточным увлажнением и последующим хорошим уплотнением (многократным движением трактора либо с помощью виброуплотнителя на металлической плите) (рис. 3).

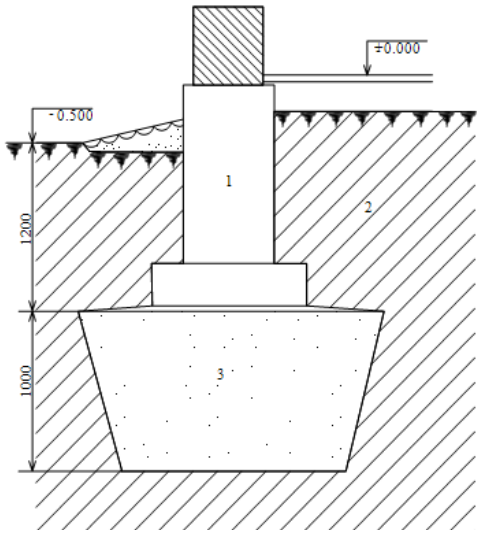


Рис. 3. Фундамент *1* на песчаной подушке *3* в лессовом грунте *2* I типа просадочности

Подушки из лессовых грунтов, иначе говоря устройство грунтовых подушек, являются одним из распространенных методов подготовки оснований на просадочных лессовых грунтах. Они представляют собой уплотненный слой грунта из местного лессовидного суглинка. Толщина уплотненного слоя может быть 1…4 м. Для создания такого слоя вначале производится выемка котлована на необходимую глубину. На дно котлована слоями (25…30 см) укладывается выбранный ранее лессовидный суглинок без гумусовых примесей и растительных остатков. При оптимальной влажности каждый слой уплотняется механизмами укаткой или трамбованием.

Грунтовые подушки целесообразны для грунтов I типа просадочности. Толщина подушек назначается таким образом, чтобы полное давление на нижнем их урезе было меньше начального просадочного давления для лессового грунта данной площадки. Это полностью устраняет возможность проявления просадок. Для грунтов II типа просадочности грунтовые подушки целесообразны лишь в сочетании с глубинным уплотнением (закреплением) лессовых просадочных толщ (предварительное замачивание).

Стоимость возведений грунтовых подушек в зимнее время значительно повышается. Грунтовые подушки создают водонепроницаемый экран, уплотненный грунт имеет повышенную несущую способность и практически перекрывает собой всю сжимаемую толщу. Метод послойной укатки позволяет создавать грунтовые подушки значительной мощности (3,0…4,0 м).

Уплотнение взрывами лессовых грунтов можно производить различными способами: камуфлетные взрывы (сосредоточенные заряды), взрывы удлиненных зарядов, взрывы после предварительного замачивания грунтов и комбинированные взрывы.

Взрывы после предварительного замачивания грунта. Сущность нового ускоренного глубинного уплотнения лессовых грунтов II типа просадочности предварительным замачиванием и энергией взрывов заключается в следующем. Уплотняемая толща просадочных грунтов замачивается через дренажные скважины (диаметром 0,4 м с шагом 3 × 3 м) расчетным количеством воды, необходимым для заполнения пор грунта только в пределах уплотняемого участка. Глубина скважин составляет не менее 2/3 мощности уплотняемого слоя. После этого во взрывных скважинах производятся глубинные взрывы, передающие гидродинамическое воздействие на приведенный в неустойчивое состояние грунт. Взрывы вызывают уплотнение просадочного грунта и резкое понижение поверхности дна котлована. Процесс уплотнения замоченного массива происходит очень быстро (три — пять дней), равномерно по всей глубине толщи.

Замачивание лессовых грунтов водой в глубине лессовых толщ с целью их уплотнения и устранения просадочных свойств получило широкое развитие. При замачивании лессовых грунтов происходит нарушение их структурной прочности вследствие размягчения структурных связей, создаваемых глинистыми минералами, растворения и выщелачивания солей, участвующих в построении кристаллических связей. Одновременно с разрушением природной структуры в грунте начинает формироваться новая, более плотная структура. Происходит процесс упрочнения грунта. Этот процесс во времени

протекает различно, в зависимости от структуры лессовых грунтов, их гранулометрического и химико-минералогического состава.

Глубинное уплотнение при помощи грунтовых свай. Метод основан на проходке (пробивке) скважин на глубину просадочной толщи и заполнении их уплотненным местным грунтом или другой минеральной массой (песком, известью, грунтоцементом). При расположении скважин на расстояниях, равных двум — пяти диаметрам между ними, получается массив уплотненного грунта, обладающий непросадочными свойствами и повышенной прочностью.

Сваи из уплотненного грунта, а также грунтоцемента или грунтоцемента со шлаком могут применяться для устранения просадочных свойств лессовых грунтов как I, так и II типа просадочности при одновременном сокращении возможной величины осадки здания. Длина грунтовых свай при II типе просадочности может достигать 15…18 м и более. Грунтовые сваи в лессовых грунтах II типа просадочности должны прорезать всю просадочную толщу. В остальных случаях их длина должна определяться из того расчета, чтобы суммарные осадки и просадки не превышали предельно допустимых величин для зданий и сооружений.

Водозащитные мероприятия. Защита лессовых грунтов основания от замачивания достигается соответствующей компановкой генплана, предусматривающей размещение водосборных сооружений и зданий с мокрыми технологическими процессами в пониженных местах застраиваемой территории, вертикальной планировкой, обеспечивающей отвод ливневых вод со строительной площадки, устройством водонепроницаемых отмосток вокруг зданий, организованным отводом с крыш атмосферных осадков, герметизацией стоков водоводов, проложенных в районе строительства, а также разрывами между сетями водоводов и наружной гранью фундаментов, исключающими замачивание грунтов оснований при утечке воды из сетей.

Обширный опыт многолетнего применения водозащитных мероприятий свидетельствует о недостаточной их эффективности. Применение даже самых дорогих водозащитных мер практически не обеспечивает полной защиты просадочных лессовых оснований под фундаментами от замачиваний. Поэтому при возведении зданий и сооружений нельзя рассчитывать только на одни водозащитные мероприятия. Они должны входить в комплекс мероприятий (водозащитные, конструктивные, техническая мелиорация грунта). Наибольший эффект от водозащитных мероприятий можно ожидать в просадочных лессовых грунтах I типа при строительстве зданий и сооружений, конструкции которых допускают известную неравномерность осадок, например кирпичные или железобетонные каркасные здания. Многолетняя эксплуатация городских территорий и площадок промышленных предприятий показала, что, несмотря на водозащитные мероприятия, в лессовых толщах со временем неизбежно увеличивается влажность, формируются горизонты верховодок, поднимаются уровни грунтовых вод, образуя куполообразные поднятия. Это объясняется нарушением естественного влагооборота в зоне аэрации лессовых толщ поступлением воды в грунт в результате утечки из подземных коммуникаций [4—6].

В силу вышесказанного вполне очевидно, что водозащитные мероприятия не могут считаться достаточно надежными, исключающими замачивание грунтов оснований, особенно при длительной эксплуатации зданий. Даже при условии хорошо выполненных водозащитных мероприятий вода в основании зданий может поступать со стороны окружающей их территории, резко изменить свойства грунтов оснований, затопить подвальные помещения, телефонные колодцы и другие подземные сооружения.

Комплексные исследования лессовых грунтов территории между реками Днестр и Прут осуществлены Ю. И. Олянским, Е. В. Щекочихиной и др. [7, 8]. Основные результаты данных исследований заключаются в следующем:

1. Выполнено инженерно-геологическое районирование лессовых территорий. Для этого использован формационный принцип, предложенный И. В. Поповым и поддержанный рядом исследователей [9]. Выделены четыре инженерно-геологические области и 11 инженерно-геологических районов.

2. Для каждого инженерно-геологического района получены нормативные значения показателей состава и свойств лессовых грунтов [7, 10].

3. Изучены особенности изменения состава и свойств лессовых грунтов при длительном обводнении и техногенной фильтрации. Установлено, что лессовые грунты являются грунтами замедленно-просадочного типа, и разработана методика прогноза коэффициента послепросадочного уплотнения, основанная на вероятностных аналогиях. Для каждого инженерно-геологического района рассчитано значение коэффициента величины послепросадочного уплотнения [7, 11, 12].

4. Проанализированы причины деформации зданий и сооружений региона, возведенных на просадочных грунтах [4].

5. Изучены особенности обводнения лессовых толщ территории в зависимости от геологических и техногенных факторов. Составлена прогнозная карта подтопления территории г. Кишинева в масштабе 1 : 500 000. Дан прогноз развития подтопления на всей территории междуречья [13—15].

6. Составлены карты типологического инженерно-геологического районирования в масштабе 1 : 50 000 по типам и видам лессовых толщ (рис. 4), по величине коэффициента послепросадочного уплотнения [4, 7] (рис. 5).

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

Основными методами ликвидации просадочных свойств грунтов на стадии строительства в данном регионе являются: поверхностное уплотнение трамбованием и глубинное уплотнение грунтовыми сваями. В южной части междуречья с наиболее развитой лессовой толщей и максимальной ее просадкой от собственного веса может применяться уплотнение грунтов замачиванием котлованов и энергией взрыва [16]. Анализ инженерно-геологических условий выделенных районов и свойств лессовых пород дает возможность обосновать мероприятия для каждого инженерно-геологического района, выполнение которых позволит обеспечить безаварийную эксплуатацию зданий и сооружений (табл.).

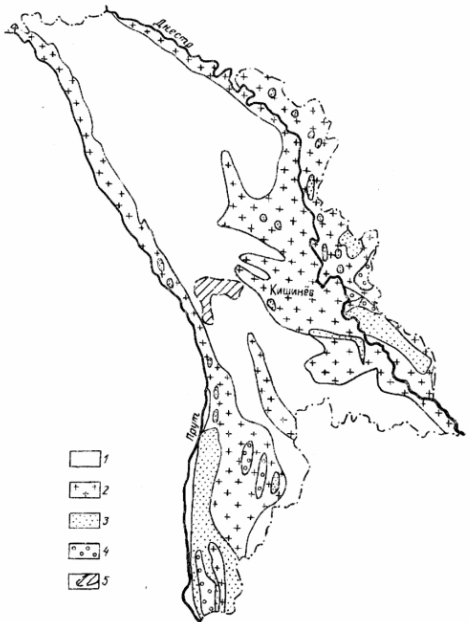


Рис. 4. Схематическая карта просадочности лессовых пород Молдовы: *1* — мощность просадочной толщи до 5 м, просадка от собственного веса отсутствует; *2* — мощность просадочной толщи до 10 м, ожидаемая просадка до 5 см; *3* — мощность просадочной толщи до 20 м, ожидаемая просадка 5…10 см; *4* — мощность просадочной толщи до 20 м и более, ожидаемая просадка 10…50 см; *5* — участки отсутствия просадочных пород

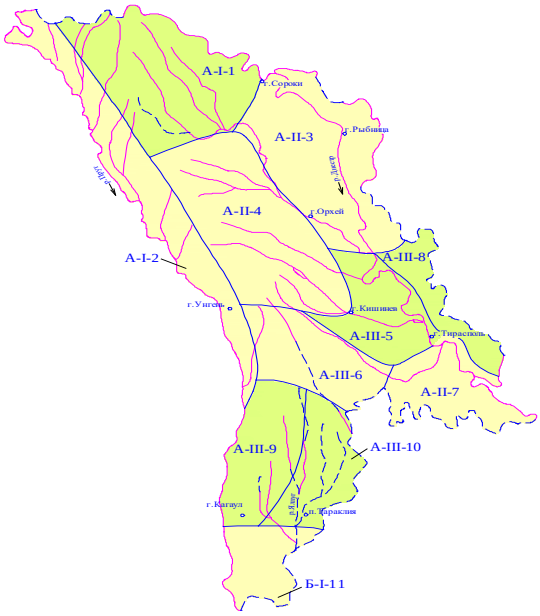


Рис. 5. Карта типологического инженерно-геологического районирования лессовых территорий Молдовы по величине послепросадочного уплотнения: А-I-2 — индекс инженерно-геологического района; ——— — граница инженерно-геологического района. Значения коэффициента послепросадочного уплотнения $K_{пу}$ лессовых пород толщи Q_3 и $Q_{3\text{-}4}$: ▭ — 1,7…2,2; ▭ — 2,2…3,2

Мероприятия по борьбе с просадочностью лессовых оснований в различных инженерно-геологических районах междуречья Прут — Днестр

Методы защиты инженерных сооружений	Инженерно-геологический район										
	А-I-1	А-I-2	А-II-3	А-II-4	А-III-5	А-III-6	А-III-7	А-III-8	А-III-9	А-III-10	Б-I-11
1. Водозащитные мероприятия											
1) рациональная планировка поверхности	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2) водонепроницаемые отмостки вокруг здания	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3) водонепроницаемые экраны под фундаментами		+	+		+	+	+	+		+	
4) прокладка водонесущих коммуникаций в туннелях								+	+		+
5) дренажи подземных вод					+	+	+	+		+	
2. Мероприятия по устранению просадочности пород											
1) фундаменты в вытрамбованных котлованах	+			+							
2) уплотнение грунтов сжимаемой толщи поверхностным трамбованием	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3) уплотнение грунтов просадочной толщи грунтовыми сваями									+	+	+
4) уплотнение грунтов замачиванием в котлованах									+		+
5) уплотнение грунтов взрывами в котлованах									+		+
3. Конструктивные мероприятия											
1) уширение фундаментов, в том числе плитные фундаменты								+	+	+	+
2) специальные типы фундаментов								+	+		+
3) разрез сооружения осадочными швами		+			+	+	+	+	+	+	+
4) повышение жесткости сооружения за счет увеличения расхода металла и бетона					+	+	+	+	+	+	+

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проблемы строительства и эксплуатации зданий на лессовых грунтах Северного Причерноморья / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, С. В. Кузнецова, И. Ю. Кузьменко, Е. В. Щекочихина, С. А. Чарыкова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. Вып. 44(2). С. 31—39.

2. *Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A.* Features of assessment of subsidence properties of loess rocks in the design of bases and foundations in central Moldova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Electronicedition, 2018. Pp. 42—58.

3. *Olyanskii Y. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A.* Forecast of magnitude post-subsidence compaction at the bulding on slow-subsidence of loess soils // E3S Web of Conferences. 22nd International Sci. Conf. on Construction the Formation of Living Environment, FORM-2019, 2019.

4. *Олянский Ю. И.* Лессовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах Республики Молдова). Кишинев : Штиинца, 1992. 130 с.

5. *Olyansky Y., Kalinovsky S.* Features of construction of buildings and constructions on loessial the bases in Moldova // XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction — The Formation of Living Environment, FORM-2018. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Iss. 6.

6. *Olyansky Y. I., Kuzmenko I. Y., Shchekochikhina E. V.* Features of construction buildings on the loessial soil of central Moldova // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 2208—2212.

7. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Т. М. Тихонова, И. Ю. Кузьменко. Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. 204 с.

8. *Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А.* Инженерно-геологические проблемы освоения территорий распространения дисперсных грунтов в сейсмоактивных районах // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1(78). С. 30—37.

9. *Трофимов В. Т.* Инженерно-геологиское районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты) : автореф. дис. … д-ра геол.-минерал. наук. М., 1976. 49 с.

10. Оценка просадочности лессовых оснований полевыми и лабораторными методами / А. Н. Богомолов, Г. М. Скибин, Ю. И. Олянский, С. И. Махова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 40(59). С. 98—115.

11. *Олянский Ю. И.* Опыт оценки послепросадочного уплотнения лессовых пород по лабораторным испытаниям // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Естеств. науки. 2005. Вып. 4(14). С. 81—85.

12. *Щекочихина Е. В., Калиновский А. С., Степанова Е. А.* Цель и задачи инженерно-геологических изысканий для проектирования гидротехнического строительства на просадочных грунтах // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. Вып. 51(70). С. 5—13.

13. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленно просадочных грунтах I и II типа по просадочности / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Л. А. Анисимов, Е. В. Щекочихина, А. Ф. Алексеев // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2015. Вып. 41(60). С. 14—23.

14. *Olyanskii Y. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A.* Predicting the post-subsidence consolidation of slowly subsiding loess soils in constructing hydraulic structures // Power Technology and Engineering. 2020. Vol. 53. No. 5. Pp. 545—548.

15. *Olyansky Y. I., Shekochihina E. V., Kalinovsky S. A.* Researctes of the seismic properties of clay soils for seismic microzoning // OP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference “FarEastCon 2019”, 2020. Vol. 753.

16. *Osipov V. I.* Physicochemical theory of effective stresses in soils // Water Resources. 2014. Vol. 41. No. 7. Pp. 801—818.

© Щекочихина Е. В., Олянский Ю. И., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Щекочихина Е. В., Олянский Ю. И. Инженерно-геологическое обоснование строительства на просадочных грунтах Днестровско-Прутского междуречья // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 84—96.

Об авторах:

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

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

Evgeniya V. Shchekochikhina, Yurii I. Olyanskii

Volgograd State Technical University

ENGINEERING AND GEOLOGICAL SUBSTANTIATION CONSTRUCTION ON INSULATED SOILS

On the basis of comprehensive studies of the geological structure of the territory of the Dniester-Prut interfluve, the composition and properties of loess soils and analysis of the experience of construction on collapsible soils, recommendations have been developed to combat the subsidence of loess bases for each engineering-geological region of the interfluve.

K e y w o r d s: loess soils, subsidence, post-subsidence compaction, engineering-geological zoning, control of subsidence during construction.

For citation:

Shchekochikhina E. V., Olyanskii Yu. I. [Engineering and geological substantiation construction on insulated soils]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 84—96.

About authors:

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

Yurii I. Olyanskii — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olyansk@list.ru

УДК 625.731

С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, И. И. Глазунов

Волгоградский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕНИЯ В КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЯХ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Причинами преждевременного разрушения дорожной одежды являются: конструктивные (проектные) дефекты, низкое качество материалов, нарушения при производстве работ. Наиболее слабыми элементами конструкций являются подстилающие песчаные слои и грунтовое основание. Напряженно-деформированное состояние конструктивных слоев дорожной конструкции существенно зависит от жесткости (модуля упругости) несущего слоя основания. Исследовано влияние модуля упругости основания на общий модуль конструкции, растягивающие напряжения в асфальтобетонном покрытии, сдвигающие напряжения в подстилающих песчаных слоях и грунтовом основании. Контроль качества строительства слоев основания и грунтов рабочего слоя насыпи предложено выполнять по величине упругого динамического прогиба, с помощью установки динамического нагружения ПДУ-МГ4. Это позволит моделировать воздействие транспортных нагрузок на конструктивные слои дорожных одежд и грунтовое полупространство на стадии их сооружения, обеспечить проектную прочность дорожных одежд. В случае занижения модуля упругости основания можно своевременно принять меры по усиленному уплотнению грунтов насыпи и материалов основания, увеличению толщины конструктивных слоев, замене материалов на более прочные.

К л ю ч е в ы е с л о в а: основание, дорожная одежда, модуль упругости, растягивающие напряжения, сдвиговые напряжения, грунтовое основание.

Одной из основных причин разрушения дорожных конструкций является недостаточная несущая способность грунтов земляного полотна и его основания. Остаточные деформации в слоях покрытия в процессе эксплуатации дороги составляют 30 %, в основании дорожной одежды и грунтах земляного полотна — до 70 % [1]. В значительной степени это объясняется техническими возможностями обеспечения более высокого качества укладки и уплотнения асфальтобетонных слоев покрытия современными асфальтоукладчиками и катками, контролем температурного режима смесей, их рецептуры и физико-механических характеристик на асфальтобетонных заводах и строительных объектах. Как следствие, однородность прочностных и деформационных характеристик дорожных покрытий выше, чем в нижних слоях дорожных одежд и земляного полотна.

Исследования [1—3] показывают, что основными причинами преждевременного разрушения дорожных одежд после строительства дорог являются:

конструктивные (проектные) дефекты, возникающие в результате ошибочных расчетов при проектировании, нарушения технического задания и неверного применения нормативной документации, — 22 %;

применение конструкций, материалов и полуфабрикатов низкого качества или несоответствующих проекту — 36 %;

технологические причины, обусловленные несоблюдением нормативных требований при производстве дорожных работ (несоблюдение температурного или влажностного режимов, некачественное уплотнение и т. п.), — 42 %.

Расчеты прочности эксплуатируемых дорожных одежд показывают, что наиболее слабыми элементами конструкций являются подстилающий песчаный слой и грунтовое основание (рис. 1). В существующих конструкциях дорожных одежд, построенных в 70—90-е гг. прошлого столетия, как правило, не обеспечена сдвиговая прочность грунтов насыпей и подстилающих слоев. Запас прочности на сдвиг в грунтовых основаниях изменяется от +60 до –53 %, в подстилающих слоях — от +20 до –75 %. Запас прочности дорожных одежд по упругому прогибу (50…62 %) объясняется, как правило, необходимостью обеспечения сдвиговой прочности песчаных подстилающих слоев.

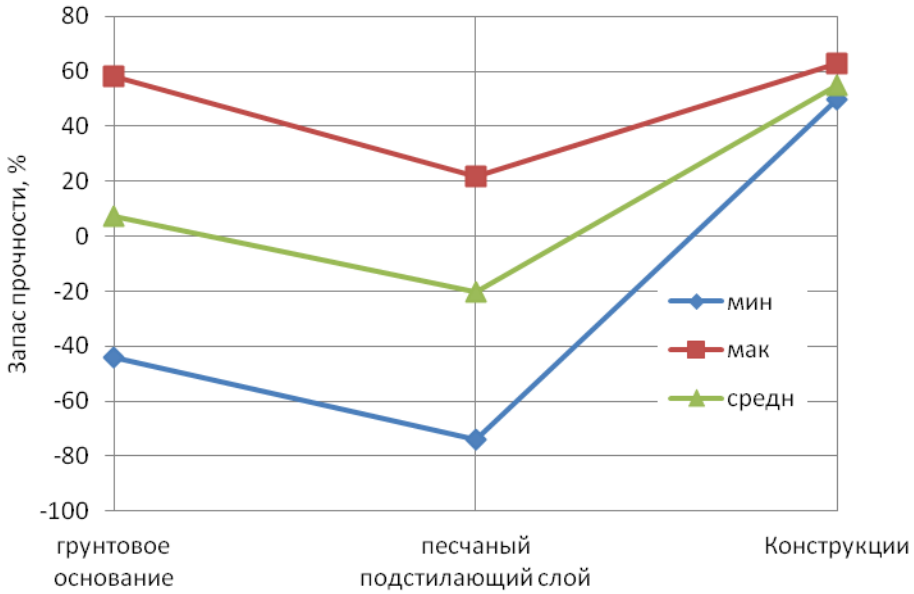


Рис. 1. Оценка прочности конструктивных элементов дорожных одежд

Доказано, что прочностные и деформационные характеристики грунтов определяются их влажностью и плотностью[1] [4—7]. Чем выше влажность и ниже плотность грунтового основания, тем меньше его модуль упругости, сцепление и угол внутреннего трения. Повысить модуль упругости рабочего слоя насыпей можно укреплением грунтов, армированием геосинтетическими материалами, заменой глинистых грунтов на пески мелкие или средней крупности, переуплотнением, укреплением обочин и т. д. Улучшение поверхностного водоотвода, устройство продольного и поперечного дренажа, понижение УГВ способствуют снижению влажности и повышению деформационных характеристик грунтов рабочего слоя насыпи.

Прочностные расчеты современных конструкций дорожных одежд в IV—V дорожно-климатических зонах показали, что на дорогах III—IV технических категорий наиболее слабым конструктивным слоем являются подстилающие слои из песка. Запас прочности песчаного слоя на сдвиговую деформацию не более 6 % [5]. Эффективным решением является

[1] ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М. : Информавтодор, 2001. 148 с.

замена песка на отсевы дробления щебня, песчано-гравийную смесь, укрепленные грунты. Для обеспечения водоотвода, на границе с грунтовым основанием следует укладывать геотекстиль [8—10].

Повышение прочности несущего слоя основания из щебня возможно его укреплением цементопесчаной смесью по способу пропитки, заклиниванием щебня фракции 40…70 мм мелким щебнем (клинцом), асфальтобетонной или песчано-гравийной смесью, каменными высевками. Эффективным является повышенное уплотнение основания из плотных щебеночных смесей оптимального состава[2].

Для обоснования целесообразности повышения жесткости пакета нижних конструктивных слоев дорожной одежды (системы «земляное полотно — основание») выполнены исследования влияния модуля упругости несущего слоя основания на напряженно-деформированное состояние конструкции автомобильных дорог IV технической категории для V дорожно-климатической зоны. Расчет напряжений в слоях выполнен с помощью компьютерной программы «Радон» для восьми конструкций с асфальтобетонным покрытием. Свойства материалов конструктивных слоев дорожных одежд приведены в табл.

Прочностные и деформационные свойства конструктивных слоев дорожных одежд

Наименование слоя	$H_{расч}$, см	$E_{упр}$, МПа	$E_{сдв}$, МПа	$E_{раст}$, МПа	F, град.	C, МПа
Асфальтобетон плотный горячий на битуме БНД марки 60/90 (тип Б, марка II)	5	3200	460	4500		
Асфальтобетон пористый горячий на битуме БНД марки 60/90 (крупнозернистый, марка III)	6	2000	432	2800		
Материалы несущего слоя основания						
Щебень фракционированный легкоуплотняемый 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем	25…40	450				
Щебеночные смеси (С) непрерывной гранулометрии для оснований С3 — 80 мм	25…40	280				
Материалы подстилающего слоя основания						
Песок мелкий с 0%-м содержанием пылеглинистой фракции	20	100			26,0	0,002
Песок средней крупности с 0%-м содержанием пылеглинистой фракции	20	120			28,0	0,003
Отсев щебня Фроловского карьера на прослойке из геотекстиля типа «Дорнит»	20	220				

[2] Методические рекомендации по повышению качества дорожных оснований из щебня различных пород. М. : СоюзДорНИИ, 1980. 17 с.

Окончание табл.

Наименование слоя	$H_{расч}$, см	$E_{упр}$, МПа	$E_{сдв}$, МПа	$E_{раст}$, МПа	F, град.	C, МПа
Грунты рабочего слоя насыпи						
Суглинок легкий (1-й тип местности по увлажнению)		73			11,0	0,014
Суглинок легкий (2-й тип местности по увлажнению)		59			9,1	0,012
Песок мелкий однородный (3-й тип местности по увлажнению)		75			26,0	0,002
Супесь легкая крупная (3-й тип местности)		65			25,0	0,003

Верхние слои покрытия представлены асфальтобетоном плотным горячим типа Б, марки II и асфальтобетоном пористым горячим (крупнозернистым) марки III, которые широко применяются на региональных дорогах Волгоградской области. В несущем слое основания использована щебеночная смесь непрерывной гранулометрии С3 — 80 мм или щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой мелким щебнем. Нижний подстилающий слой конструкции представлен песком мелким и средней крупности или отсевом щебня Фроловского карьера. Грунты насыпи представлены песком мелким однородным, супесью легкой крупной и суглинком легким. Прочностные и деформационные характеристики грунтов рабочего слоя насыпи назначались для 1—3-го типов местности по характеру увлажнения дорожного полотна. Расчеты напряжений в конструктивных слоях и грунтовом основании выполнялись при увеличении толщины несущего слоя основания с 25 до 40 см с шагом 1…3 см.

Исследования показали, что повышение жесткости слоев основания $E_{осн}$ с 140 до 260 МПа приводит к повышению фактической прочности конструкций $E_{ф}$ с 209 до 359 МПа линейным образом (рис. 2):

$$E_{ф} = 1{,}2259E_{осн} + 44{,}116. \quad (1)$$

Надежность дорожной конструкции определяется прочностью монолитных слоев покрытия на растяжение при их изгибе под действием транспортных нагрузок. Прочностные расчеты показали, что увеличение жесткости основания способствует снижению растягивающих напряжений σ в нижнем слое покрытия из пористого крупнозернистого асфальтобетона в 1,5 раза (рис. 3):

$$\sigma = 2{,}3593e^{-0{,}003E\text{ф}}. \quad (2)$$

Расчеты показали, что замена песка в подстилающем слое на отсевы дробления щебня эффективна. Увеличение модуля упругости E слоя со 120 до 220 МПа при замене сдвигоопасного песчаного слоя позволяет снизить напряжения сдвига в грунте насыпи на 22 %. Эквивалентный модуль упругости основания при этом возрастает на 17 %. Снижение сдвиговых напряжений в грунте насыпи при увеличении толщины несущего слоя основания из щебня с 25 до 40 см различных конструкций приведено на рис. 4. Для обеспечения водоотвода из основания дорожной одежды с отсевом дробления щебня, на границе с грунтовым основанием рекомендуется укладка геотекстиля типа «Дорнит» с его выпусками на откосы насыпи не менее 10 см.

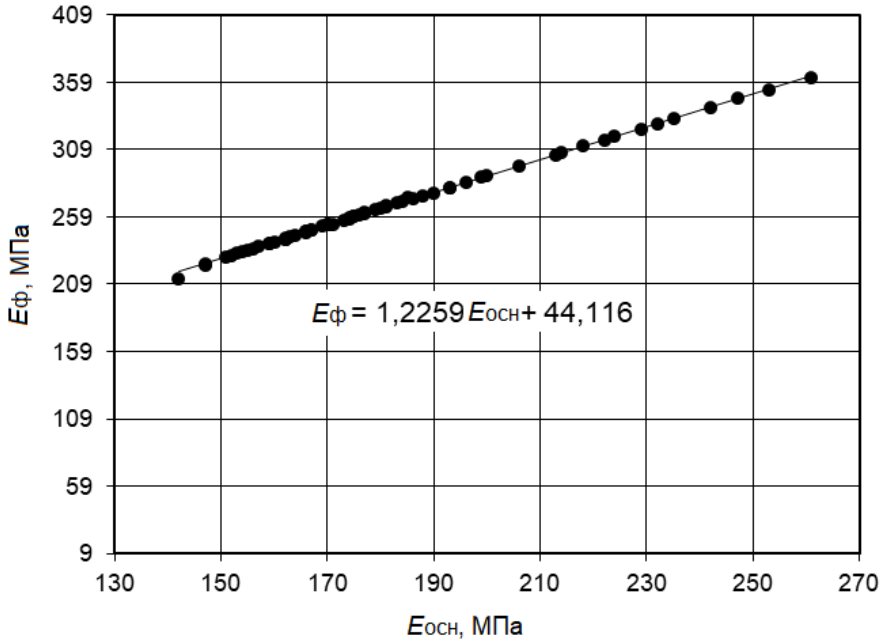


Рис. 2. Зависимость фактического модуля упругости дорожной одежды от эквивалентного модуля основания

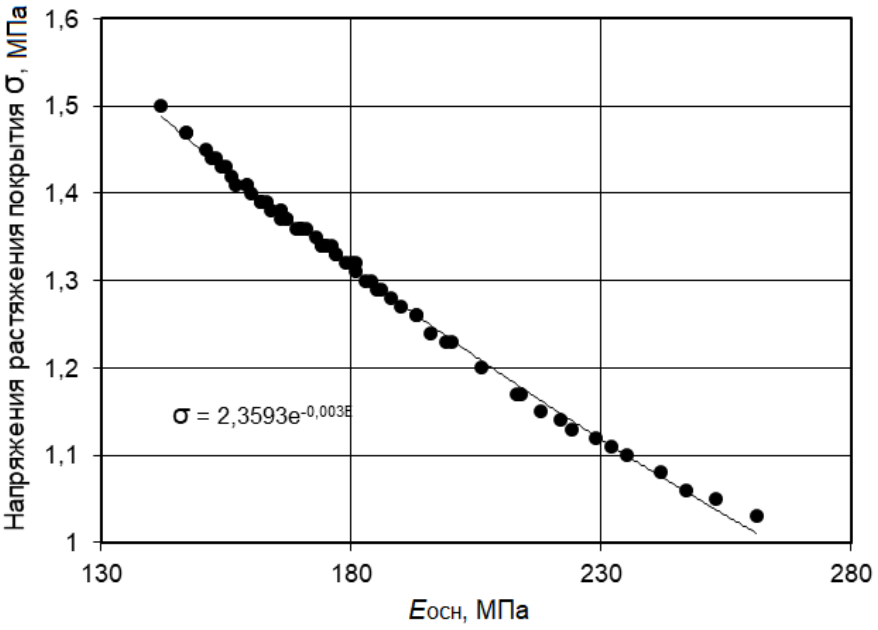


Рис. 3. Снижение растягивающих напряжений в нижнем слое покрытия при увеличении эквивалентного модуля основания

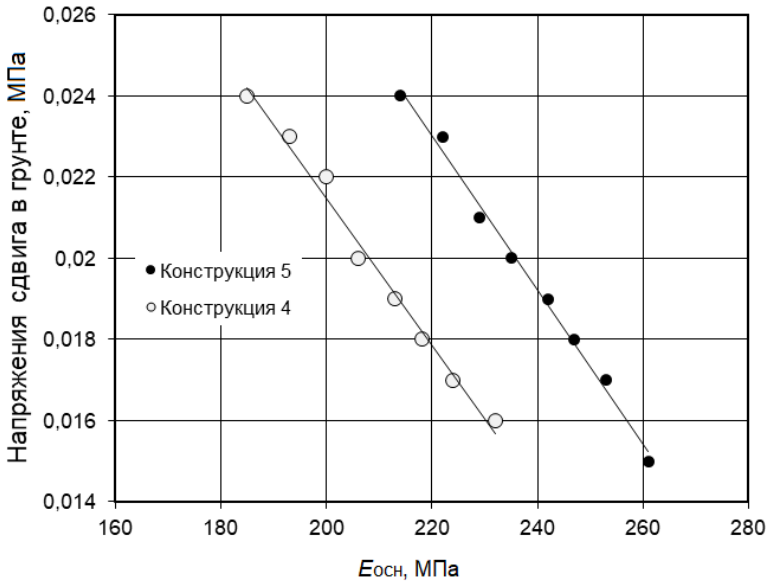


Рис. 4. Изменения сдвиговых напряжений в грунте насыпи при замене песка (конструкция № 5) на отсевы щебня (конструкция № 4) в подстилающем слое

Замена в слоях основания малопрочной щебеночной смеси С3 — 80 мм (E = 280 МПа) на фракционированный щебень 40…80 мм (E = 450 МПа) и песка мелкого на песок крупный позволила увеличить эквивалентный модуль упругости основания и всей конструкции на 20…28 % и снизить растягивающие напряжения в нижнем слое покрытия на 13 %. При этом снижение сдвигающих напряжений в грунтовом основании не наблюдается (рис. 5).

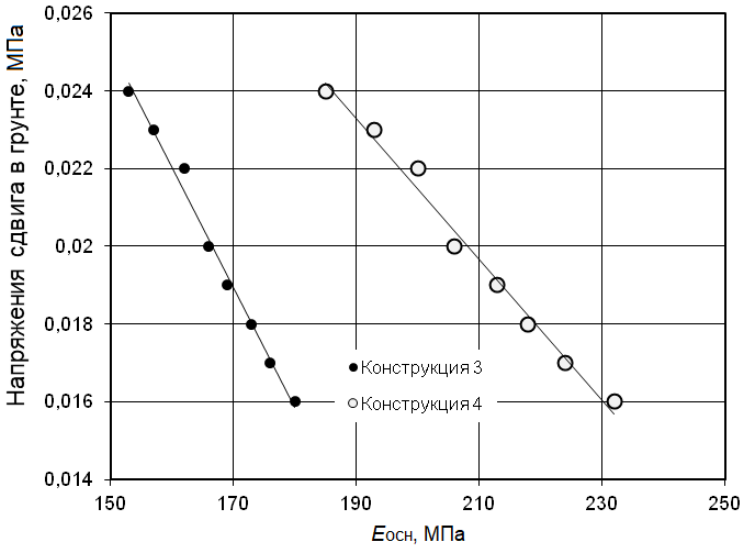


Рис. 5. Изменение сдвиговых напряжений в грунте насыпи при замене прочного щебня основания (конструкция № 4) на местный малопрочный (конструкция № 3)

Наибольшее влияние на сдвиговые напряжения в грунтовом основании оказывают деформационные свойства грунтов. Замена суглинка легкого (конструкция № 6) на песок мелкий (конструкция № 7) и супесь легкую крупную (конструкция № 8) позволила увеличить угол внутреннего трения в грунте насыпи с 9,1 до 26 град., сцепление с 0,012 МПа до 0,03 МПа. Это способствовало снижению напряжения сдвига на 58…62 % (рис. 6).

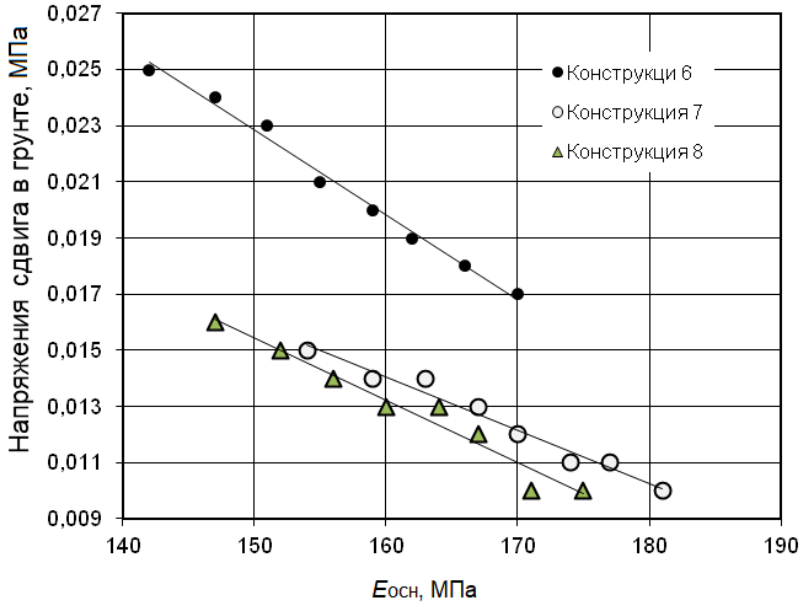


Рис. 6. Изменение сдвиговых напряжений от эквивалентного модуля основания для различных грунтов насыпи на мокрых участках местности

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что в процессе проектирования и строительства дорожных одежд необходимо предъявлять жесткие требования к несущей способности основания и рабочего слоя земляного полотна. Повысив жесткость нижней части конструкций, можно снизить толщину верхних дорогостоящих слоев дорожной одежды и обеспечить нормативный срок службы этих сооружений. Операционный контроль качества строительства слоев основания и грунтов рабочего слоя насыпи по величине упругого динамического прогиба с помощью установки динамического нагружения ПДУ-МГ4 позволит моделировать воздействие транспортных нагрузок на конструктивные слои дорожных одежд и грунтовое полупространство на стадии их сооружения, обеспечить проектную прочность дорожных одежд[3] [11, 12]. В случае занижения модуля упругости основания в процессе строительства можно своевременно принять меры по усиленному уплотнению грунтов насыпи и материалов основания, увеличению толщины конструктивных слоев, замене материалов на более прочные.

[3] СТ СЭВ 5497-86. Дороги автомобильные международные. Определение несущей способности дорожных конструкций и их конструктивных слоев установкой динамического нагружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кулижников А. М.* Пути повышения межремонтных сроков службы автомобильных дорог // Дорожная держава. 2016. № 66. С. 47—51.

2. *Ermoshin N. A.* Predicting the risk of road pavement premature destruction // Journal of Physics Conference Series. 2020. Vol. 1479. Iss. 1.

3. *Bazhanov A. P.* General issues of assessing the reliability of roads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 632. Iss. 1.

4. *Аляторцев Д. А., Алексиков С. В.* Обоснование расчетных характеристик грунтов земляного полотна // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2005. Вып. 5(17). С. 73—79.

5. *Aleksikov S. V.* Analysis of Design Parameters of Highway Subgrade Soils in Southern Russia // Procedia Engineering. 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016. Vol. 150. Elsevier Ltd, 2016. Pp. 1729—1732.

6. Автомобильные дороги (совершенствование методов проектирования и строительства) / В. М. Сиденко и др. Киев : Будивельник, 1973. 278 с.

7. *Алексиков И. С., Курдюкова Л. Е., Алексиков С. В.* Прогнозирование физико-механических свойств грунтов земляного полотна // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун.-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2008. Вып. 12. С. 51—53.

8. *Tailor R. M., Desai M. D., Shah N. C.* Geotextile as reinforcement in flexible pavement for swelling subgrade // Proceedings of Indian Geotechnical Conference, Kochi, 2011. Paper No. J-230. Pp. 565—568.

9. *Agrawal B. J.* Geotextile: It's application to civil engineering — overview // Proceedings of the National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, Anand, May 13—14, 2011. Pp. 1—6.

10. Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering / H. Wu, C. Yao, C. Li, M. Miao, Y. Zhong, Y. Lu, T. Liu // Materials. 2020. Vol. 13. No. 7. URL: https://doi.org/10.3390/ma13071774.

11. *Кулижников А. М., Мошенжал А. В., Величутин Н. В.* О модуле упругости грунтов. URL: https://setek.satu.kz/a28939-module-uprugosti-gruntov.html.

12. *Шарипова И. А., Дорофеева О. С.* Анализ методик определения плотности грунта в полевых условиях // Современные тенденции развития науки : материалы Междунар. (заоч.) науч.-практ. конф., Нур-Султан, 14 февр. 2020 г. / Под общ. ред. А. И. Вострецова. Нур-Султан : Мир науки, 2020. С. 23—31.

© Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И., 2021

Поступила в редакцию
в ноябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И. Влияние жесткости основания на напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 97—105.

Об авторах:

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

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович — старший преподаватель каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dima.0103@mail.ru

Глазунов Илья Игоревич — аспирант, инженер каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; glazunov.i@list.ru

Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman, Il'ya I. Glazunov

Volgograd State Technical University

INFLUENCE OF BASE RIGIDITY ON STRESSES IN CONSTRUCTIVE LAYERS OF ROAD PAVEMENT

The reasons for the premature destruction of the pavement are: constructive (design) defects, poor quality of materials, violations during the execution of work. The weakest structural elements are the underlying sand layer and subgrade. The stress-strain state of the structural layers of the road structure depends significantly on the rigidity (elastic modulus) of the supporting base layer. A study was carried out on the influence of the elastic modulus of the base on the general modulus of the structure, tensile stresses in the asphalt concrete pavement, shear stresses in the underlying sand layers and the subgrade. It is proposed to control the quality of construction of the base layers and soils of the working layer of the embankment according to the magnitude of the elastic dynamic deflection, using the PDU-MG4 dynamic loading unit. This will allow simulating the impact of transport loads on the structural layers of road pavements and the soil half-space at the stage of their construction, to ensure the design strength of the pavement. In case of underestimation of the modulus of elasticity of the base, it is possible to take timely measures to strengthen the compaction of the embankment soils and base materials, increase the thickness of the structural layers, and replace the materials with stronger ones.

K e y w o r d s: foundation, pavement, elastic modulus, tensile stresses, shear stresses, soil foundation.

For citation:

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Glazunov I. I. [Influence of base rigidity on stresses in constructive layers of road pavement]. *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], 2021, iss. 4, pp. 97—105.

About authors:

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AL34rus@mail.ru

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; leskien@inbox.ru

Dmitrii I. Gofman — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dima.0103@mail.ru

Il'ya I. Glazunov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; glazunov.i@list.ru

УДК 625.089.2

С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, И. И. Глазунов, С. В. Рубежанский

Волгоградский государственный технический университет

ЯМОЧНЫЙ РЕМОНТ ПОКРЫТИЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе выполнен анализ состояния региональной дорожной сети Волгоградской области. Доказана целесообразность ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия горячими смесями. Обоснованы технологические параметры ямочного ремонта покрытий с учетом неравномерности температуры и особенностей уплотнения смеси по объему выбоины.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильная дорога, ямочный ремонт, проезжая часть, асфальтобетонное покрытие, дефекты, выбоина.

Автомобильные дороги регионального и межмуниципального значения играют ключевую роль в социально-экономическом развитии Волгоградской области. Их протяженность составляет 9,99 тыс. км, из них 8,36 тыс. км имеют твердое покрытие. Более 80 % грузов и пассажиров перевозится по региональной дорожной сети, которая не в полной мере соответствует возросшим потребностям автоперевозчиков. Под действием транспортных нагрузок и погодных условий на поверхности дорожных покрытий возникают деформации и разрушения в виде выбоин, просадок, трещин и волн, что приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационных показателей и снижению срока эксплуатации автомобильной дороги.

Масштабное обследование состояния дорог показало, что нормативному состоянию покрытия по продольной ровности не отвечает 41 % дорожной сети, по наличию недопустимых дефектов на проезжей части — 22 % (рис. 1). Более 40 % дорог не отвечает нормативным требованиям по состоянию проезжей части [1].

Рис. 1. Состояние автомобильных дорог регионального значения Волгоградской области

Наиболее характерными дефектами проезжей части являются: колейность до 4…5 см общей протяженностью дорог 24 %, ямочность до 25 м^2 общей площадью покрытия 18 %, участки с сеткой трещин до 150 м^2 общей протяженностью 12 %, пучины площадью до 3 м^2, выбоины глубиной до 15 см общей площадью на покрытии 11 % (рис. 2).

Опыт эксплуатации показывает, что наиболее опасными дефектами являются выбоины. Попадание колеса в выбоину может привести к серьезным последствиям, вплоть до опрокидывания транспортного средства. Наблюдения показывают, что дороги наиболее подвержены образованию таких дефектов в осенне-весенний период. В летний период под воздействием колесных нагрузок на участках с трещинами или незначительными просадками дорожное покрытие деформируется, трескается, откалывается. В период дождей и низких температур воздуха процесс разрушения ускоряется многократно. Выбоины начинают интенсивно развиваться и в течение суток могут вырасти до аварийных. По данным статистики, на этих участках до 40 % ДТП происходит из-за дефектов дорожного покрытия [2].

Рис. 2. Выбоины на проезжей части дороги «Волгоград — Октябрьский — Котельниково — Зимовники — Сальск»

Учитывая, что сроки ликвидации допустимых повреждений площадью от 0,3 до 7 м^2 на 1000 м^2 покрытия достаточно короткие, необходима технология оперативного и качественного ремонта асфальтобетонного покрытия в течение 5…10 сут от их образования на дорогах.

Как показывает практика, ежегодно ямочный ремонт необходим примерно для 2…3 % общей площади дорожного покрытия. Он имеет несколько неоспоримых преимуществ: нет необходимости в полном ограничении движения автотранспорта, быстрое проведение работ (маленькие участки восстанавливаются в течение суток), отсутствие необходимости привлечения тяжелой специальной техники, незначительные финансовые затраты, позволяет снизить общий риск ДТП до 17 %, ДТП с пострадавшими — 22 % [2].

Основной задачей ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия является восстановление проезжей части как можно ближе к нормативному состоянию.

В зависимости от условий эксплуатации дороги применяются разные технологии ремонта покрытия [3—5]. Выбор технологии ремонта покрытия зависит от многих факторов: применяемого материала, средств механизации,

конструкции и дефектов покрытия дороги, погодных условий (рис. 3). Для обеспечения безопасности движения транспортных средств независимо от погодных условий необходимо выполнять работы по ямочному ремонту покрытия при пониженных или отрицательных температурах воздуха (круглогодично).

Рис. 3. Факторы, определяющие технологию ямочного ремонта дорожного покрытия

Актуальной задачей является обоснование технологии ремонта асфальтобетонных покрытий, которая позволяет проводить эти работы в любое время года с обеспечением требуемого качества. Вопрос сравнительной эффективности применения разных методов ремонта дорожных покрытий рассмотрен в [6, 7]. На основе анализа разных технологий по пятибалльной системе установлено, что наиболее эффективными являются технологии на основе горячего и литого асфальтобетона (рис. 4). Отмеченные технологии позволяют осуществлять ямочный ремонт в течение года, включая и нижележащие слои асфальтобетонного покрытия, если того требуют повреждения дорожной одежды. Применение технологий на основе битумных эмульсий и эмульсионно-минеральных смесей не эффективно при отрицательных температурах воздуха из-за наличия в битумных эмульсиях воды.

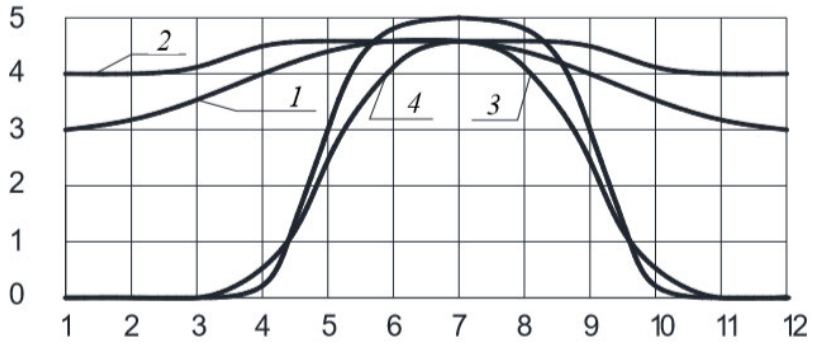


Рис. 4. Сравнительная эффективность технологий ремонта покрытий в течение года: *1* — горячий асфальтобетон; *2* — литой асфальтобетон; *3* — локальная терморегенерация; *4* — струйно-инъекционный метод

Наиболее распространенным является ремонт горячим асфальтобетоном. Исследования показали, что для горячего метода ремонта выбоин характерны следующие нарушения производства работ: недостаточная подготовка основания выбоины, нарушение температурных режимов при укладке и уплотнении горячей смеси, ее некачественное уплотнение. Неровности основания выбоины приводят к неравномерной толщине смеси после ее укладки. Игнорирование прогрева выбоины по контуру приводит к интенсивному неравномерному снижению температуры смеси по объему выбоины, особенно в холодный период года (рис. 5, 6).

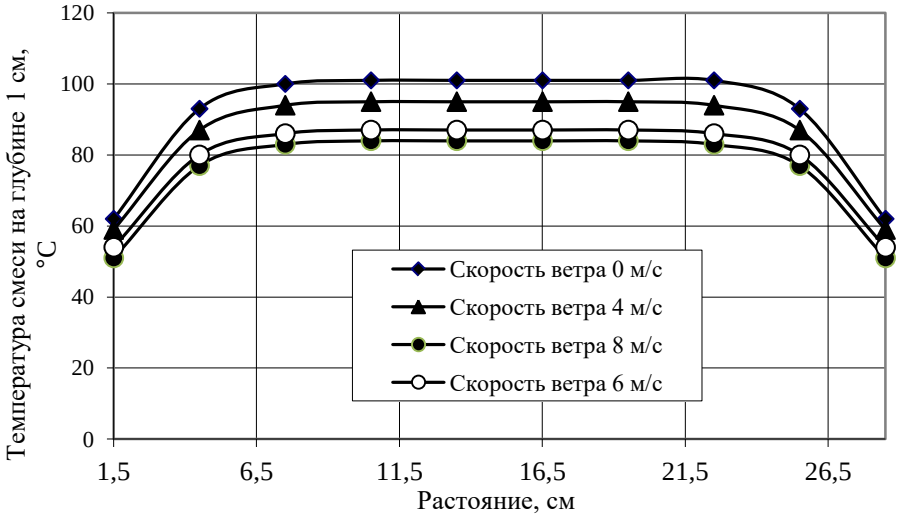


Рис. 5. Распределение температуры смеси в выбоине при температуре воздуха 0 °С

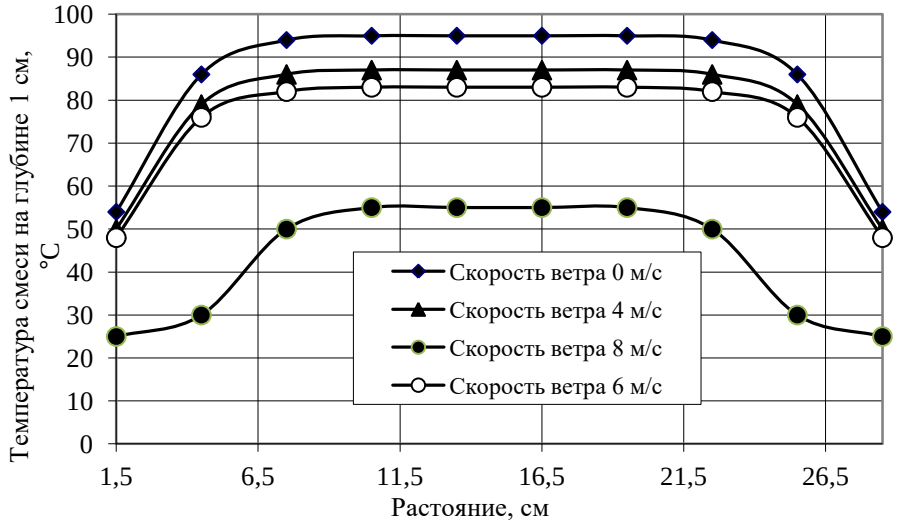


Рис. 6. Распределение температуры смеси в выбоине при температуре воздуха 10 °С

Интенсивность остывания смеси зависит от температуры воздуха и толщины слоя. При понижении температуры воздуха с 23 до 10 °С влияние толщины слоя на интенсивность теплоотдачи в прилегающее покрытие и атмосферу возрастает в 3…4 раза (рис. 7).

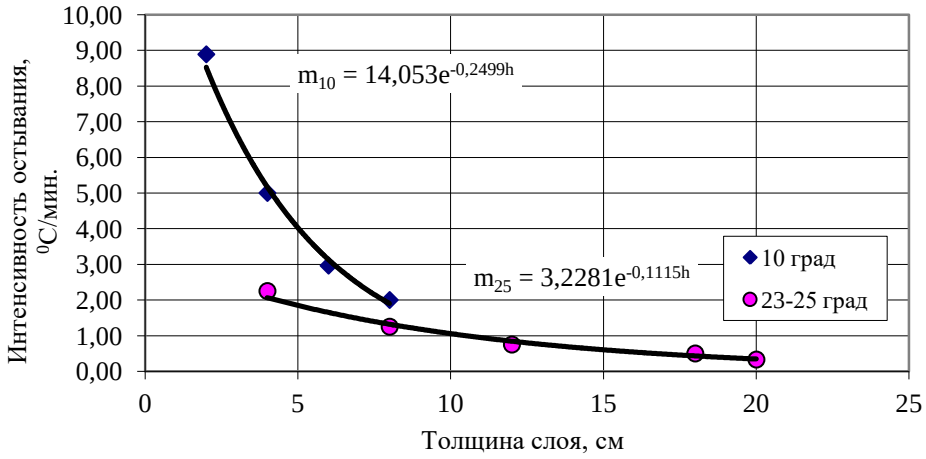


Рис. 7. Интенсивность остывания смеси в выбоине в зависимости от ее глубины и температуры воздуха

Исследования показывают, что технология уплотнения смеси в выбоине требует совершенствования. Это обусловлено тем, что при уплотнении виброплитой или катком его валец или плита заезжает на старое покрытие и не уплотняет смесь. При использовании виброплиты наблюдается эффект «выглаживания» покрытия.

В результате интенсивного неравномерного охлаждения смеси и сложности ее уплотнения катком на границе выбоины со старым покрытием формируется зона пониженной плотности (рис. 8). После ремонта под действием воды и транспортных нагрузок появляются трещины. и материал выкрашивается. В зимний период замерзание влаги в трещинах приводит к образованию ледяных линз, которые дополнительно расклинивают и отслаивают новый асфальтобетон от старого. В результате долговечность участков дороги после ремонта не превышает 1 года эксплуатации (рис. 9).

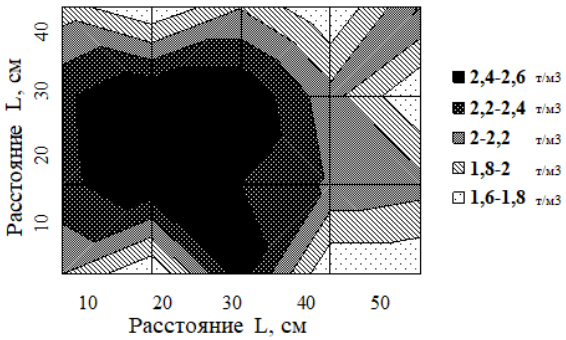


Рис. 8. Картограмма плотности асфальтобетона в выбоине после уплотнений [8]

Рис. 9. Трещина по контуру выбоины через 1 год после ремонта

Обязательным условием обеспечения качества ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия является обеспечение температурного режима смеси. Теплотехнические расчеты по методике [6] позволили обосновать допустимое время укладки и уплотнения смеси в выбоине в зависимости от температуры воздуха (рис. 10). Результаты расчетов рекомендуется использовать для смесей на битуме БНД 60/90 при глубине выбоины 5 см.

Практикой установлено, что если осенью на автодороге наблюдаются трещины и незначительные разрушения покрытия, то весной на этом же участке образуется ямочность. Поэтому при появлении таких дефектов покрытия необходимо проводить профилактические мероприятия по предотвращению дальнейшего разрушения дорожного полотна до наступления осадков и заморозков. Регулярное проведение подобных мероприятий положительно отражается на состоянии не только верхнего слоя асфальтобетона, но и всей дорожной одежды в целом. Особенно важно заделывать даже незначительные повреждения покрытия осенью, еще до наступления дождей. Для проведения качественного ямочного ремонта чистота и сухость выбоины играют более важную роль, чем температура материала и наружного воздуха [9—11].

Для достижение нормативной плотности смеси в выбоине необходимо:

выполнять укладку смеси толщиной H, превышающей глубину выбоины h на величину осадки смеси при ее уплотнении;

уплотнять смесь виброплитой соответствующих параметров с увеличенным числом проходов по одному следу.

Толщина укладки смеси в выбоину зависит от типа смеси и способа ее укладки в покрытие:

$$H = 1,09\frac{h\mu^{0,08}}{K_{\text{уо}}^{1,477}}, \quad (1)$$

где μ — коэффициент поперечной деформации (щебенистые смеси μ = 0,20…0,25; малощебенистые μ = 0,25…0,30; песчаные μ = 0,30…0,35); $K_{\text{уо}}$ — коэффициент начального уплотнения рыхлой смеси (0,70…0,80).

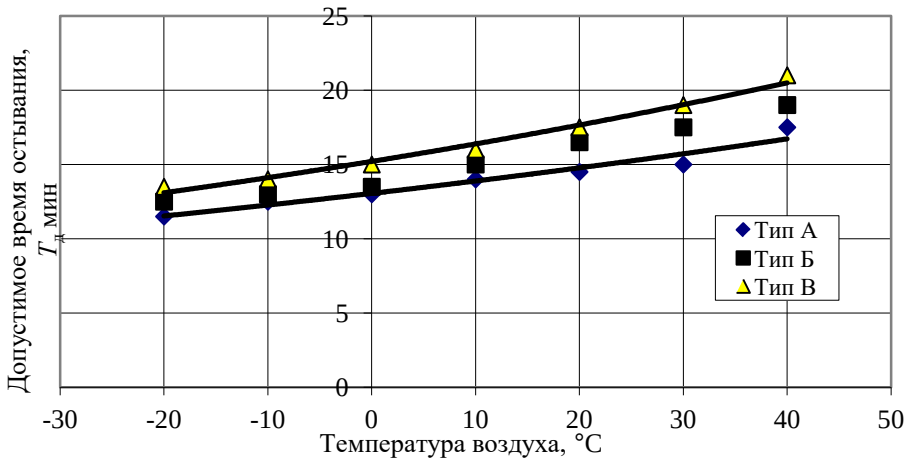


Рис. 10. Допустимое время укладки и уплотнения смеси в выбоине в зависимости от температуры воздуха

Достижение нормативного коэффициента уплотнения смеси вибрационной плитой при соответствующих параметрах плиты обеспечивается за 3—4 прохода по одному следу [8, 12—14]. Применение вибрационных плит со значительной массой и высокой относительной вынуждающей силой способствует развитию значительных деформаций уплотняемого слоя на начальной стадии уплотнения, что характеризует процесс разуплотнения слоя смеси.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Региональная дорожная сеть Волгоградской области находится в неудовлетворительном состоянии. Более 40 % дорог не отвечают нормативным требованиям по состоянию проезжей части (рис. 1). Наиболее характерными дефектами являются: колейность до 4…5 см, ямочность до 25 м^2, сетка трещин, пучины, выбоины глубиной до 15 см. Наиболее опасными дефектами являются выбоины.

На основе анализа разных технологий ямочного ремонта покрытий (рис. 3) установлено, что наиболее эффективно применение горячего асфальтобетона. Условием обеспечения качества ремонта покрытия является достижение нормативной плотности асфальтобетона в условиях неравномерного распределения температуры смеси по объему выбоины (рис. 4, 5). Укладку и уплотнение смеси следует выполнить в течение 10…20 мин в зависимости от температуры воздуха и типа смеси (рис. 8).

Для достижение нормативной плотности смеси в выбоине необходимо выполнять укладку смеси толщиной, превышающей глубину выбоины на величину осадки смеси при ее уплотнении виброплитой при 3—4 проходах по следу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Альшанова М. И.* Влияние ровности дорожного покрытия на себестоимость перевозок и безопасность движения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2020. Вып. 2(79). С. 24—31.

2. *Калмыков Н. Н., Трофимова О. М., Маковкина С. А., Канина Ю. С.* О ситуации с безопасностью дорожного движения в Российской Федерации и первоочередных мерах по ее улучшению // Качество и жизнь. 2016. № 3(11). С. 15—21.

3. *Чванов В. В.* Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. М. : ИНФРА-М, 2010. 416 с.

4. Современные методы и средства ямочного ремонта покрытий автомобильных дорог Ленинградской области / Дорожный комитет Ленинградской области. СПб., 2016. 63 с.

5. *Лифшиц Б. А., Гончаров Ю. П.* Справочник по ремонту и содержанию дорожных покрытий. 2-е изд., доп. и перераб. М. : Стройиздат, 1979. 170 с.

6. *Козлов Л. Н., Альте-Тайгелер Р., Виноградов А. П.* Современные методы ремонта и профилактической защиты искусственных покрытий аэродромов и автомобильных дорог. М., 2017. 21 с.

7. *Зубков А. Ф., Однолько В. Г., Евсеев Е. Ю.* Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей. М. : Спектр, 2013. 180 с.

8. *Ермилов А. А., Алексиков С. В.* Однородность виброуплотнения асфальтобетонных покрытий при ремонте городских дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2014. Вып. 35(54). С. 171—176.

9. Asphaltic compaction methods // Constr West. 1967. Vol. 22. No. 1. Pp. 40—42.

10. Asphalt paving design guide. Asphalt Paving Association of Iowa. 1990. 125 p.

11. Asphalt pavement design guide for Low-Volume Roads and Parking Lots. 2014. 28 p.

12. *Зубков А. Ф.* Анализ применения вибрационных плит при ремонте дорожных покрытий нежесткого типа // Механизация строительства. 2011. № 6. С. 28—31.

13. *Костельов М. П.* Современные методы и средства ямочного ремонта дорожных покрытий // Дорожная техника. 2001. № 5. С. 56—59.

14. Aleksikov S. V., Yermilov A. A. Comparative assessment of uniformity of compaction of asphalt concrete surfaces of city roads at various operating modes of compactors // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2014. Iss. 4 (24). Pp. 48—57.

© Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И., Рубежанский С. В., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Ямочный ремонт покрытий региональной дорожной сети Волгоградской области / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, И. И. Глазунов, С. В. Рубежанский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 106—114.

Об авторах:

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

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович — старший преподаватель каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dima.0103@mail.ru

Глазунов Илья Игоревич — аспирант, инженер каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; glazunov.i@list.ru

Рубежанский Сергей Владимирович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman, Il'ya I. Glazunov, Sergei V. Rubezhanskij

Volgograd State Technical University

POTHOLE REPAIR OF COATINGS OF THE REGIONAL ROAD NETWORK OF THE VOLGOGRAD REGION

The paper analyzes the state of the regional road network of the Volgograd region. The expediency of pit repair of asphalt concrete pavement with hot mixtures is proved. The technological parameters of the patching repair of coatings are justified, taking into account the uneven temperature and the features of compaction of the mixture by the volume of the pothole.

K e y w o r d s: automobile road, patchwork in road construction, roadway, asphalt concrete pavement, defects, pothole.

For citation:

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Glazunov I. I., Rubezhanskij S. V. [Pothole repair of coatings of the regional road network of the Volgograd region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 106—114.

About authors:

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AL34rus@mail.ru

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; leskien@inbox.ru

Dmitrii I. Gofman — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dima.0103@mail.ru

Il'ya I. Glazunov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; glazunov.i@list.ru

Sergei V. Rubezhanskij — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 656.13.08:711.582(470.45)

В. В. Балакин[а], Я. В. Галанюк[б], А. В. Бурятинская[в], Н. С. Гаврилова[а], А. А. Желтоногова[а]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] ГКУ АО «Астраханьавтодор»
[в] Астраханский филиал ООО «Газпромнефтепереработка»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ АСТРАХАНИ

Определены направления развития городских транспортных систем, обеспечивающие надежность и безопасность их функционирования в условиях роста экономики и развития социальной сферы. Выделены основные недостатки магистральной улично-дорожной сети Астрахани, требующие устранения при реализации муниципальной программы по развитию Астраханской территориальной транспортной системы. В соответствии с градостроительными мероприятиями в рамках генерального плана конкретизируются приоритетные направления модернизации и повышения экологической безопасности транспортной системы Астрахани.

К л ю ч е в ы е с л о в а: транспортная система, пропускная способность улично-дорожной сети, акустический режим застройки, загазованность атмосферного воздуха, экологическая безопасность.

Одной из главных задач развития городских транспортных систем является снижение негативного воздействия на окружающую среду, проявляемого через газовое, пылевое, шумовое, вибрационное, электромагнитное и тепловое загрязнение природных средовых систем. При высокой степени такого воздействия транспортный комплекс может стать достаточно мощным инфраструктурным ограничителем социально-экономического развития городов и регионов[1]. Чтобы снять такое ограничение, транспортные системы необходимо развивать опережающими темпами по сравнению с ведущими отраслями экономики. Здесь возможна реализация инновационного варианта развития, при котором обеспечивается надежность и безопасность функционирования транспортных систем, в том числе в сфере экологии.

Астраханская область входит в состав Южного федерального округа и является приграничным регионом: по суше граничит с Республикой Казахстан, по морю — с Азербайджанской Республикой, Исламской Республикой Иран, Республикой Казахстан и Республикой Туркменистан. В Российской Федерации к Астраханской области прилегают территории Волгоградской области и Республики Калмыкии. По территории региона проходит международный транспортный коридор (МТК) «Север — Юг», связывающий страны Южной и Юго-Восточной Азии через территорию Ирана, Каспийское море и Астраханскую область с Центральной Россией и государствами Северной, Центральной и Восточной Европы. Основная ветвь МТК «Север — Юг» проходит по направлению Санкт-Петербург — Москва — Астрахань — Тегеран — Бандар — Аббас — Индия. По МТК Е-40 «Запад — Восток», проходящему

[1] Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. URL: http://static.government.ru/media/files/Z31ADuvq0eoXlknPdhwWRYl22ISdhpaS.pdf.

по территории Астраханской области, следуют крупные грузопотоки из стран Средней Азии и Ближнего Востока в порт Оля, а также южные регионы России, Украину и страны Восточной Европы. Через Астраханскую область проходят автомобильные дороги федерального значения М-6 и М-8. К настоящему времени завершен первый этап строительства восточного обхода Астрахани, соединяющего транспортные коридоры Е-40 «Запад — Восток» и «Север — Юг».

По параметрам развития сеть автомобильных дорог Астраханской области занимает ведущее положение в России и Центральной Азии — общая протяженность автомобильных дорог составляет 80 тыс. км. Практически во всех поселениях имеются дороги с твердым покрытием [1]. Важное положение в транспортной инфраструктуре Астраханской области занимают автомобильные трассы Астрахань — Волгоград — Москва, Астрахань — Элиста — Ставрополь, Астрахань — Махачкала и Астрахань — Атырау (Казахстан).

Основным недостатком сформировавшейся к настоящему времени сети автомобильных дорог Астраханской области является отсутствие самостоятельной связи федеральных дорог, подходящих к городу с западной стороны (Москва — Астрахань и др.), с дорогами, подходящими к городу с востока (Астрахань — граница с Республикой Казахстан и др.). Вследствие этого в срединной зоне города наблюдается высокая загруженность магистральных дорог и улиц (Астраханский Новый автодорожный мост, ул. А. Барбюса, ул. Савушкина, ул. Яблочкова, ул. Староверова и др.) внешними автомобильными потоками, следующими через город транзитом. Особые проблемы связаны со статусом отдельных магистралей, проложенных по территории города. Например, статус улицы Магистральной как автомобильной дороги федерального значения не позволяет провести ее реконструкцию по нормам магистрали общегородского значения.

Среди недостатков улично-дорожной сети (УДС) на территории Астрахани можно выделить:

недостаточную пропускную способность магистральной УДС и высокий уровень дорожно-транспортных происшествий на связях с Кирикилинским, Межболдинским и Завокзальным планировочными районами (ул. Яблочкова уличн ул. Староверова, мосты через р. Прямая Болда и р. Кривая Болда, ул. С. Перовской);

отсутствие благоустроенной местной сети дорог и проездов в большинстве кварталов и микрорайонов;

низкий уровень технико-эксплуатационного состояния дорожных покрытий, неравномерную освещенность проезжей части, отсутствие дождевой канализации на многих улицах, даже в центральной части города.

В городе функционируют лишь несколько участков закрытых дождевых водостоков, поэтому после выпадения осадков в условиях плоского рельефа на улицах затрудняется движение транспорта, снижается уровень комфорта пешеходов.

В результате химического анализа сточных вод на улицах Боевой, Брестской и Н. Островского установлено превышение в несколько раз предельно допустимых концентраций взвешенных веществ, нефтепродуктов, хлоридов, сульфатов, железа, цинка, свинца, меди и кадмия. В городе насчитывается 2500 выпусков и только два очистных сооружения [2]. Сброс сточных вод в

бассейн реки Волги, в реки Прямая Болда, Кривая Болда, Царев, Старая Волга происходит без очистки[2]. Кроме этого в открытые водоемы поступает поверхностный сток с территории гаражных хозяйств, расположенных в водоохранной зоне реки Волги и ее притоков. По данным Астраханского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, воды Нижней Волги загрязняются соединениями меди, цинка, ртути, нефтепродуктами, фенолами и другими органическими веществами [3].

Значительное содержание меди, свинца, кобальта, никеля выявлено в пойменных почвах г. Астрахани вблизи автомагистралей. На расстоянии 10 м от дороги содержание меди превышает предельно допустимые концентрации в 1,4…1,7 раза, свинца — в 1,6 раза, никеля — в 2,8…4,2 раза. В полосе шириной 100 м от дороги содержание этих элементов в почвенном покрове значительно выше, чем среднее содержание по городу.

Территориальная разбросанность основных градообразующих предприятий, тяготеющих к воде, — в основном это судоремонтные, судостроительные и рыбообрабатывающие предприятия, занимающие прибрежные территории, — привела к разобщенности исторически сложившихся жилых образований как рабочих поселков. И хотя сегодня это уже крупные жилые массивы, их территориальная обособленность еще сохраняется, что усложняет работу общественного транспорта и сферы обслуживания этих районов.

В 1980—1990-е гг. происходили процессы массового освоения городских территорий под коллективные садоводства, застройка которых дополнила уже сложившиеся районы индивидуальной застройки (Межболдинский и др.). Компактно-расчлененная планировочная структура селитебной территории с малоэтажной застройкой на окраинах города повлекла за собой формирование свободной и бессистемной планировки УДС.

Характерной чертой транспортной системы Астрахани является высокая плотность магистральной УДС в центральной планировочной зоне. Это вызывает частую смену циклов торможения-разгона транспортных средств у перекрестков, что сопряжено с повышенным расходом топлива и работой двигателей на неблагоприятных режимах с точки зрения токсичности отработавших газов (ОГ). Количество оксида углерода (CO) в выбросе в этих случаях достигает 12 % по объему [4]. В зонах разгона автомобилей в сравнении с участками постоянной скорости движения концентрация CO в воздухе возрастает в 2…3 раза [5], а в местах торможения и остановки — в 4,5…5,0 раз [6]. Вследствие этого загазованность воздушного бассейна на участках УДС с регулируемым движением приобретает очаговый характер.

Излишние задержки транспорта и увеличение протяженности участков дорог и улиц, на которых появляются остаточные очереди после выключения разрешающего сигнала, отмечаются в часы, когда интенсивность движения существенно отличается от той, по которой подобран цикл регулирования [7, 8]. Поэтому значительное улучшение режима работы автомобильного транспорта на УДС Астрахани возможно путем широкого использования автоматизированных систем управления дорожным движением, адаптированных к дорожно-транспортным условиям, а также строительства внеуличных

[2] Структура пояснительной записки «Основные положения проекта генерального плана г. Астрахань». URL: www.astragid.ru/upload-files/gp.doc.

пешеходных переходов, организации непрерывного движения автомобилей на магистралях путем строительства транспортных развязок.

Магистральные улицы центральной планировочной зоны Астрахани имеют узкие проезжие части шириной 7…14 м и незначительную ширину в красных линиях. На отдельных участках таких улиц с плотной фронтальной застройкой, образующей каньоны, складывается неблагоприятная экологическая ситуация с точки зрения аэрации и рассеяния выбросов автомобилей [9, 10]. При поперечном ветре в уличных каньонах появляется устойчивая обратная циркуляция воздушных потоков, сдерживающая рассеяние загрязняющих веществ [11—16]. Повышенный уровень загазованности формируется на территории жилой застройки, прилегающей к таким наиболее загруженным магистральным улицам, как Набережная Приволжского Затона, Адмиралтейская, Победы, Боевая, Б. Хмельницкого, Кубанская, Н. Островского. Вместе с этим вблизи автомагистралей с наиболее интенсивным движением — ул. Яблочкова, ул. Адмирала Нахимова, ул. Б. Хмельницкого, ул. Победы и другие — наиболее выражено загрязнение почвы тяжелыми металлами и бенз(а)пиреном [3].

На транспортной сети города практически отсутствует дифференциация дорог и улиц по транспортному назначению, а также их специализация по скоростному режиму [17]. Возможности вывода грузового транспорта в периферийные районы ограничены из-за недостаточной ширины проезжей части дорог. Поэтому на отдельных участках УДС роль грузовых дорог выполняют жилые улицы. Высокий процент грузовых автомобилей в общем потоке (до 55…79 %) на основных магистралях и улицах города отражается на их шумовых характеристиках и акустическом режиме прилегающей жилой застройки. На улицах Яблочкова, Победы, Адмиралтейской, Савушкина, Кубанской, Пирогова, Пушкина, Аристова, Псковской, Коптеева, Душкина, К. Маркса, Набережной 1 Мая, переулке Ишимбаевском уровни звука колеблются от 72 до 75 дБА. На магистралях с неоднородным транспортным потоком отмечаются наиболее низкие скорости движения. В таких условиях особенно усугубляется роль легкового автомобильного транспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. Выброс CO легковым автомобилем при скоростях 25…33 км/ч достигает 40 г/км, в то время как при оптимальной скорости (70 км/ч) эмиссия этого компонента ОГ не превышает 5 г/км [18].

Нерациональная планировка зданий — торцевая строчная или под углом к магистрали — способствует проникновению выбросов автомобилей вглубь примагистральной территории на 50…100 м в направлении участков дошкольных образовательных организаций, школ и зон отдыха на таких магистральных улицах, как Коммунистическая, Кубанская, Н. Островского. Это влечет за собой увеличение общей площади зоны дискомфорта жилой среды.

Таким образом, основными экологическими проблемами Астрахани являются повышенный уровень шума в жилой застройке и загрязнение атмосферного воздуха, почвы и водоемов выбросами автомобильного транспорта. В целях улучшения состояния городской среды в проекте генерального плана Астрахани со сроком реализации к 2025 г.[3] предусматриваются

[3] Там же.

следующие мероприятия по повышению экологической безопасности транспортной системы:

1) в области реконструкции и модернизации транспортной системы:

а) снижение интенсивности движения на УДС за счет формирования региональной (в пригородно-городском сообщении) системы магистралей скоростного и непрерывного движения,

б) вывод грузового автомобильного транспорта с городских магистралей путем строительства обходной дороги,

в) строительство транзитной общегородской магистрали непрерывного движения — «Магистраль А» и магистрали непрерывного движения — «Николаевский обход»,

г) реконструкция городских магистральных дорог и улиц общегородского и районного значения с расширением проезжей части, устройством уширений-карманов на остановочных пунктах и дополнительных полос перед пересечениями, выделением полос для движения маршрутных транспортных средств,

д) строительство внеуличных пешеходных переходов на улицах А. Барбюса, Победы, Магистральной, Адмиралтейской, Яблочкова и Заводской площади;

2) в области благоустройства магистральной УДС:

а) восстановление асфальтобетонного покрытия и устройство нового усовершенствованного покрытия проезжей части на участках УДС, укрепление обочин,

б) организация поверхностного стока дождевых и талых вод на территории города, строительство дождевых водостоков и очистных сооружений,

в) защита жилой застройки вдоль железной дороги от негативного воздействия транспорта полосами озеленения, экранами, многоэтажными гаражами;

3) проектно-планировочные мероприятия:

а) размещение новой застройки с соблюдением нормативных отступов от красных линий с учетом экологических факторов,

б) применение стеклопакетов и ограждающих конструкций, обеспечивающих акустический комфорт в жилых помещениях,

в) проектирование шумозащищенных зданий со специальной планировкой квартир, выходящих на магистрали;

4) организационные мероприятия:

а) восстановление на новой организационно-технической основе массового пассажирского транспорта с обновлением подвижного состава и техническим перевооружением транспортных предприятий,

б) организация экологического мониторинга за состоянием атмосферного воздуха,

в) организация санитарной охраны источников питьевого водоснабжения с запрещением в пределах водоохранных зон прокладки дорог и проездов, размещения стоянок транспортных средств, заправки топливом, мойки и ремонта автомобилей, тракторов и другой техники, кроме техники специального назначения,

г) оборудование системами водоотвода и очистки поверхностных вод гаражных хозяйств, в том числе расположенных в водоохранной зоне реки Волги и ее притоков.

В Астрахани, где уличная сеть в центре имеет плотную, преимущественно прямоугольную схему планировки с фрагментами радиально-кольцевой планировочной схемы, сформированной вокруг исторического ядра между реками Волга, Кутум и каналом имени 1-го Мая, основную трудность представляет нормализация экологической обстановки в жилой застройке мелких кварталов. Наиболее приемлемыми здесь являются такие мероприятия, как организация одностороннего движения транспорта, дублирование магистральных улиц, дифференциация магистралей по видам транспорта, средозащитное озеленение, строительство экранов — вертикальных стенок для защиты от транспортного шума (рис. 1).

Рис. 1. Шумозащитный экран в виде стенки между проезжей частью и прилегающей жилой застройкой

Акустические экраны (АЭ) находят широкое применение в городах РФ. В Москве АЭ сооружены, например, вдоль МКАД, на международном шоссе при въезде в город из аэропорта «Шереметьево-2», на Ярославском и Новокаширском шоссе, на участках Третьего транспортного кольца, Рижской эстакаде и др. Высота экранов находится в пределах 3…6 м [19]. При планируемых объемах строительства объектов транспортной инфраструктуры для обеспечения нормативных уровней звука в прилегающей застройке в Москве необходимо построить к 2025 г. придорожные экраны протяженностью 87 км [20].

В Волгограде на эстакадном участке пересечения III Продольной магистрали и улицы Исторической построен шумоотражающий экран высотой 2,5 м из сборно-разборных гофрированных металлических панелей протяженностью 156 м для изоляции жилых зданий в квартале № 256, школы № 85, детского дошкольного учреждения № 242 от транспортного шума [21]. На участке первой очереди мостового перехода через р. Волгу для защиты селитебной территории от транспортного шума используются АЭ в сочетании с полосами озеленения (рис. 2).

Включение АЭ в тротуарную часть наиболее узких магистральных улиц г. Астрахани с плотной застройкой дает возможность увеличить их пропускную способность путем расширения проезжей части и сокращения регламен-

тируемого нормами расстояния ее приближения к линии регулирования жилой застройки с 50 до 25 м[4].

Рис. 2. Акустический экран охватывающего типа в зоне пересечения правобережной части мостового перехода через р. Волгу с пр. Ленина в Волгограде

Наиболее эффективны экраны в виде панелей двух- или трехслойной конструкции, обеспечивающей высокий коэффициент звукопоглощения за счет введения специальных звукопоглощающих материалов (ЗПМ). В качестве ЗПМ широкое применение находят: шлаковата, капроновое волокно, стекловата, пенополиуретан, URSA, латекс, войлок, стекло- или базальтоткань, поливинилхлорид, полистербетон, пенобетон и пр.

Эффективность АЭ в виде стенок в зависимости от применяемого материала, высоты, протяженности, расположения относительно транспортного потока и объектов защиты составляет 4…20 дБА. Экраны охватывающего типа позволяют увеличить снижение уровня транспортного шума на определяющей частоте 500 Гц еще на 4…6 дБА.

В оформлении внешнего вида АЭ как весьма однородных линейных сооружений необходимо использовать разнообразные архитектурно-декоративные приемы, ведущие к изменению ритма и исключению излишней монотонности в восприятии водителями и населением соответствующего городского ландшафта. Однако при строительстве АЭ чрезмерное применение элементов декора в виде барельефов, рекламных и информационных средств не должно порождать другую монотонность. Включение таких элементов в вертикальную развертку лицевой стороны шумозащитных сооружений необходимо гармонично сочетать с размещением малых форм архитектуры и элементов благоустройства, посадками зеленых насаждений [22]. Естественно и эффективно выглядят экранирующие сооружения, заслоненные деревьями и кустарниками или задекорированные вьющимися растениями.

При формировании уличного пространства с использованием АЭ необходимо обеспечить водителям и пассажирам возможность обзора и ориентировки на местности путем использования светопрозрачных панелей, особенно в зонах перекрестков и переездов, на кривых в плане. При этом должны

[4] СП 42.13330.2016(01.01.2021). Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01—89. URL: https://www.meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747628.htm.

быть соблюдены требования безопасности движения (исключение помех видимости светофоров и других сигнальных и информационных устройств, затемнения проезжей части, отражения света фар и ослепления водителей, образования гололеда, возможность установки дорожных знаков стандартных размеров, очистки от снега, водоотвод с проезжей части). Также важно обеспечить жителям возможность беспрепятственного использования прилегающей территории. С этой целью у остановочных пунктов общественного транспорта, пешеходных переходов и въездов в кварталы предусматривается устройство контр-экранов и дубль-экранов[5]. Установка таких экранов с разрывами рекомендуется на улицах Анри Барбюса, Коммунистической, Шаумяна, Боевой, Н. Островского, Б. Хмельницкого, Заводской, Яблочкова, Савушкина, а также в местах их пересечения с улицами Моздокской и Звездной.

Выбор конструкции полос зеленых насаждений средозащитного назначения на магистральных улицах обусловливается, с одной стороны, размерами движения транспорта как источника негативного воздействия на жилую среду, а с другой — объемно-пространственной композицией транспортных сооружений и требованиями архитектурно-ландшафтной организации территории [23—26].

Натурные обследования состояния уличного озеленения Астрахани показали, что на магистральных дорогах и улицах зеленые насаждения представлены в основном однорядными редкими посадками деревьев без кустарника. В целом территорию города отличает низкий уровень благоустройства и озеленения. Всего в пределах городской черты на одного жителя приходится 3,6 м^2 на человека озелененных территорий общего пользования[6] (для сравнения: в Волгограде — 10,8, Екатеринбурге — 17,6, Санкт-Петербурге — 18,2 м^2 на человека[7]). Столь низкий уровень озеленения территории Астрахани связан с тяжелыми для развития зеленых насаждений почвенно-климатическими условиями и исторически сложившейся плотной застройкой. Решениями генерального плана Астрахани площадь зеленых насаждений общего пользования к расчетному сроку (2025 г.) составит 1262 га, что соответствует уровню озеленения 25 м^2/чел.

В числе первоочередных природоохранных мер в проекте генерального плана рекомендуется озеленить улицы двухрядными посадками деревьев. При реализации этих мероприятий в условиях ограниченной ширины магистральных улиц Астрахани необходимо максимально использовать возможности защиты жилой застройки от выбросов автомобильного транспорта путем формирования полос озеленения оптимальной конструкции. Наиболее интенсивное снижение концентраций компонентов ОГ, %, полосами зеленых насаждений происходит при значениях коэффициента ажурности $K_{аж}$, характеризующего их плотность, до 0,5…0,6 (рис. 3). Дальнейшее увеличение плотности фитомассы полос зеленых насаждений по мере увели-

[5] СП 276.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. URL: https://docs.cntd.ru/document/456050585.

[6] Структура пояснительной записки «Основные положения проекта генерального плана г. Астрахань». URL: www.astragid.ru/upload-files/gp.doc.

[7] Муниципальная программа «Благоустройство Волгограда» на 2016—2018 гг. URL: volgadmin.ru›file/uRtFf.

чения их ширины незначительно и происходит за счет увеличения числа их внутренних рядов[8]. Это следует учитывать в тех случаях, когда при наличии технических разделительных полос для прокладки инженерных коммуникаций, где по условиям их эксплуатации не предусматривается посадка деревьев, ширина улиц оказывается недостаточной для размещения многорядных древесно-кустарниковых насаждений с максимальной плотностью (при $K_{аж} = 1$).

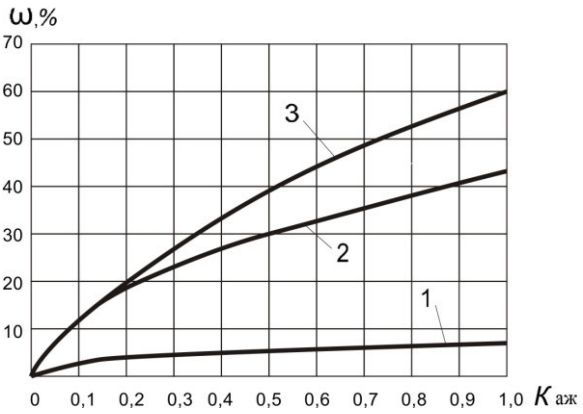


Рис. 3. Зависимость газозащитной эффективности полос зеленых насаждений от плотности и высоты: *1* — h = 1,6 м (кустарник); *2* — 9 м; *3* — 14 м; h — высота полосы; $K_{аж}$ — отношение площади облиственной части полосы к ее общей площади на фронтальной проекции

Наиболее эффективными по шумозащитным свойствам являются линейно-полосные структуры зеленых насаждений «изолирующего» типа, которые состоят из обособленных рядов деревьев с подлеском и кустарником, закрывающими подкроновое пространство. Каждый ряд такой полосы снижает шум на 1,8 дБА[9].

В ассортимент древесно-кустарниковых пород, соответствующий почвенно-климатическим условиям г. Астрахани, необходимо включать клен ясенелистный, тополь канадский, акацию белую, вяз перистоветвистый, ясень. В основном это крупномерные, быстрорастущие растения с густоветвящейся кроной.

Максимальное снижение шума 4—8-рядными полосами озеленения шириной 15…30 м, формируемыми на поперечном профиле магистральных улиц, не превышает 10 дБА[10]. При высоких шумовых характеристиках транспортных потоков это не обеспечивает акустический комфорт в жилых зданиях на линии застройки. Поэтому здесь полосы озеленения могут использоваться лишь в качестве дополнительных средств защиты от шума в сочетании с шумозащитными экранами.

[8] *Цыганков В. В.* Оценка акустических свойств зеленых насаждений в городской среде : дис. … д-ра с.-х. наук. Брянск, 1996. 277 с.

[9] Там же.

[10] Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума / ЦНИИП градостроительства Госгражданстроя. URL: http://libnorm.ru/Files2/1/4293801/4293801324.pdf.

Однако на некоторых улицах Астрахани (Ленина, Свердлова, Коммунистическая, Бабаевского, Староверова, Краматорская, Краснопитерская, Набережная Приволжского Затона, Трусова и др.) из-за ограниченного расстояния от проезжей части до линии застройки может быть исключена возможность применения в целях шумозащиты экранов и многорядных полос озеленения. При таких условиях нормативный уровень шума в квартирах жилых домов со стороны магистрали может быть обеспечен путем повышения звукоизоляции окон и лоджий. Этот эффективный метод применим для домов, оборудованных системами кондиционирования и внутренней вентиляции помещений. В оконных конструкциях, устраиваемых для шумоглушения, необходимо использовать специальные устройства, обеспечивающих приток наружного воздуха в помещения. В качестве примера в табл. даны характеристики таких устройств, снижающих уровень шума до 42 дБ [27].

Характеристика приточных устройств фирмы Aereco

Наименование устройства	Расход воздуха, $м^3$/ч, при 10 Па		Снижение уличного шума, дБ
	Максимальный	Минимальный	
EMM	35	3	33…37
EHA	50	10	42
EHT	40	5	20

В настоящее время замена оконных блоков на шумозащитные в жилых домах производится, как правило, при их капитальном ремонте или реконструкции. Поэтому в контексте с решениями генерального плана Астрахани стратегически важно разработать и утвердить порядок проведения шумозащитных мероприятий в жилых домах с сверхнормативным шумовым воздействием (в том числе не требующих капитального ремонта), включая формирование адресного перечня с указанием источников финансирования данных видов работ.

На участках УДС Астрахани, обслуживающих общественные центры и застраиваемых преимущественно объектами торговли и культурно-бытового обслуживания (супермаркетами, кафе, ресторанами, домами быта), гаражно-офисными сооружениями и другими зданиями нежилого назначения такой фронт застройки может служить шумозащитным барьером для пространства прилегающих кварталов, где размещаются жилые дома, дошкольные образовательные организации и школы[11].

При застройке участков дорог и улиц общегородского значения с наиболее высокими шумовыми характеристиками необходимо применять многосекционные шумозащищенные жилые здания с рациональными формами в плане, архитектурно-планировочными и конструктивно-техническими решениями [28, 29]. За счет дополнения таких зданий боковыми объемами, перекрывающими углы видимости участков магистрали в разрывах застройки, исключается дифракция звука в дворовое пространство, и на территории жилых групп создается благоприятная акустическая среда (рис. 4).

[11] *Акопов Л. В.* Градо-экологический подход при реконструкции жилой застройки крупных городов (на примере г. Москвы) : дис. … канд. архитектуры. М., 2004. 123 с.

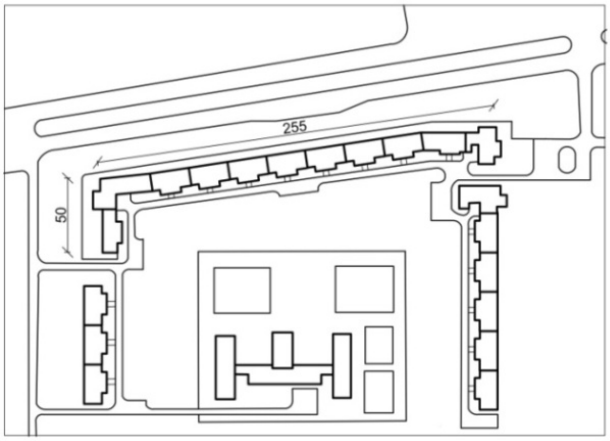


Рис. 4. Фрагмент застройки микрорайона с применением шумозащищенного здания со стороны магистральной улицы общегородского значения (проект). Цифрами указаны размеры в метрах.

Протяженность шумозащищенных жилых домов (или общественно-жилых зданий) по фронту вдоль магистральной улицы должна быть не менее 100 м, а боковых объемов — от 30 м и более[12]. В таких домах в сторону проезжей части обращены внеквартирные коммуникации, подсобные помещения квартир и не более одной комнаты общего пользования. Спальные комнаты квартир располагаются со стороны двора.

Шумозащищенные здания могут использоваться в качестве экранов для защиты от шума жилых домов повышенной этажности, располагаемых в глубине кварталов. При планировке этих зданий в виде непрерывной линии по контуру микрорайонов или планировочных районов, не расчлененных транспортными коммуникациями, может быть реализован такой градостроительный прием, как формирование жилых комплексов замкнутой формы с образованием дворов-пространств с высоким качеством жилой среды.

Приоритетными направлениями деятельности по оздоровлению жилой среды в Астрахани следует считать совершенствование транспортной системы, разработку и внедрение оптимальных планировочных и архитектурно-конструктивных проектных решений жилых образований, а также социально-гигиенический мониторинг реальной экологической ситуации, складывающейся после ввода объектов транспортного и жилищного строительства в эксплуатацию. Его результаты могут быть использованы в качестве аргументов для обоснования дополнительных мероприятий для снижения негативного воздействия транспортного комплекса на жилую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дереча Д. П.* Транспортная инфраструктура Астраханской области // Вестник АГТУ. 2008. № 4(45). С. 143—146.

2. *Ким А. Н., Давыдова Е. Н., Полянская Д. И.* Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспективы развития // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 2(23). С. 31—35.

[12] Рекомендации по проектированию экономичных планировочно шумозащищенных жилых домов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200006823.

3. *Хромов А. В.* Динамика использования и качество поверхностных вод Астраханской области // Вестник АГТУ. 2006. № 6(35). С. 206—212.

4. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В. В. Амбарцумян, В. Б. Носов, В. И. Тагасов, В. И. Сарбаев. М. : Научтехлитиздат, 1999. 208 с.

5. *Негриенко К. В., Ланцов Л. С., Новиков Г. В.* Наземный транспорт как источник шума и загрязнения воздуха в жилых районах Ленинграда // Эффективность жилой среды в условиях городского образа жизни. Л., 1978. С. 180—181.

6. *Ставничий Ю. А., Рябиков Н. А.* Влияние автомобильного транспорта на городскую среду // Автомобилизация и проблемы градостроительства. Киев, 1975. С. 12—19.

7. *Галанюк Я. В.. Бурятинская А. В*. Распределение выбросов автомобильного транспорта на регулируемых пересечениях магистралей // XXIV Международная науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 20—22 мая 2020 г., Волгоград. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. С. 160—162.

8. *Серова Е. Ю*. Возможные пути повышения пропускной способности улично-дорожной сети города // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. 2016. Вып. 46(65). С. 84—94.

9. *Балакин В. В.* Расчет загрязнения атмосферного воздуха на застраиваемых участках городских дорог // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. 2010. Вып. 18(37). С. 138—143.

10. *Балакин В. В*. Учет пространственно-временной динамики загрязнения атмосферного воздуха транспртных коммуникаций в градостроительстве // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. 2020. Вып. 4(81). С. 340—352.

11. An integrated approach to street canyon pollution modeling / P. S. Addison, J. I. Currie, D. J. Low, J. M. McCann // Environmental Monitoring and Assessment. 2000. Vol. 65. Iss. 1—2. Pp. 333—342. DOI: 10.1007/978-94-010-0932-4_36.

12. *Baik Jong-Jin, Kim Jae-Jin.* A numerical study flow and pollutant dispersion characteristics in urban street canyons // Journal of Applied Meteorology. 1999. Vol. 38. Iss. 11. Pp. 1576—1589. DOI: 10.1175/1520-0450(1999)038<1576:ANSOFA>2.0.CO;2.

13. *Hassan A. A., Crother J. M.* Modelling of fluid flow and pollutant dispersion in a street canyon // Environmental Monitoring and Assessment. 1998. Vol. 52. Pp. 281—297. DOI: 10.1007/978-94-011-5127-6_23.

14. *Lee I. Y., Park H. M.* Parametrization of the pollutant transport and dispersion in urban street canyons // Atmospheric Environment. 1996. Vol. 28. Pp. 2343—2349.

15. Traffic contribution to air pollution in urban street canyons: integrated application of the OSPM, moss biomonitoring and spectral analysis / L. Lazic, M.A. Urosevic, Z. Mijic, G. Vukovic, L. Ilic // Atmospheric Environment. 2016. Vol. 141. Pp. 347—360. DOI: 10.1016/j. atmosenv.2016.07.008.

16. *Assimakopoulos V. D., ApSimon H. M., Moussiopoulos N.* A numerical study of atmospheric pollutant dispersion in different two-dimensional street canyon configurations // Atmospheric Environment. 2003. Vol. 37. Iss. 29. Pp. 4037–4049. DOI: 10.1016/S1352-2310(03)00533-8.

17. *Храпова В. А.* Защита жилой застройки г. Астрахани от выбросов автомобильного транспорта градостроительными средствами // Материалы VI Всероссийской (с международным участием) науч.-технич. конф. молодых исследователей, Волгоград, 22—27 апреля 2019 г. Волгоград : ВолгГТУ, 2019. С. 329—331.

18. *Варшавский И. Л., Золотаревский Л. С., Игнатович П. В.* Принципы нормирования автомобилей и двигателей по признаку токсичности // Сборник трудов ЛАНЭ. М. : Знание, 1969. С. 41.

19. *Шубин И. Л., Никольский А. И.* Опыт снижения шума в г. Москве // Защита населения от повышенного шумового воздействия : сб. докладов Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Россия, Санкт-Петербург, 21—22 марта 2006 г.) СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, изд. ИННОВА, 2015. С. 58—65.

20. *Кирюшина Н. К., Пузакова А. И., Степанов В. Н.* Опыт применения средств и методов шумозащиты при реконструкции и строительстве транспортных магистралей в городе Москве // Защита населения от повышенного шумового воздействия: сб. докладов II Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Россия, Санкт-Петербург, 17—19 марта 2009 г.). СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, изд. ИННОВА, 2014. С. 372—381.

21. *Балакин В. В.* Экологическая оценка вариантов трассы городских дорог и транспортных развязок // Транспортное строительство. 1998. № 1. С. 16—17.

22. *Балакин В. В.* Шумозащитные сооружения в дорожно-мостовом и городском строительстве // Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения : материалы Всерос. науч.-техн. конф. Саранск : Изд. Морд. ун-та, 2003. С. 442—446.

23. *Балакин В. В.* Принципы формирования объектов ландшафтно-средозащитного озеленения на городских дорогах и улицах // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. 2015. Вып. 40(59). С. 58—72.

24. *Balakin V. V.* Formation of linear-strip greening objects in urban environmental systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018). 2018. Vol. 451. Iss. 1. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012166.

25. Urban green space availability in European cities / N. Kabisch, M. Strohbach, D. Haase, J. Kronenberg // Ecological Indicators. 2016. Vol. 70. Pp. 586—596. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.02.029.

26. *Perini K., Magliocco A.* Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort // Urban Forestry & Urban Greening. 2014. Vol. 13 (3). Iss. 10. Pp. 495—506. DOI: 10.1016/j.ufug.2014.03.003.

27. *Куприянов В. Н.* Проектирование защиты от шума : учеб. пособие. Казань : КГАСУ, 2010. 112 с.

28. *Яхкинд С. И., Генкина И. С.* Объемно-планировочные решения планировочно шумозащищенных объектов — жилых домов и общественно жилых зданий // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности : доклад междунар. экологического конгресса, Санкт-Петербург, 2000. СПб. : БГТУ, 2000. Т. 2. С. 457—459.

29. *Кочнев А. П.* Испытанные в Санкт-Петербурге градостроительные жилые комплексы с шумозащитной функцией. Реабилитация городских территорий по шумовому загрязнению. Планы достижения // Защита населения от повышенного шумового воздействия : сб. докладов II Всерос. науч.-технич. конф. с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 17—19 марта 2009 г.). СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, изд. ИННОВА, 2014. С. 160—179.

© Балакин В. В., Галанюк Я. В., Бурятинская А. В., Гаврилова Н. С., Желтоногова А. А., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Актуальные проблемы и пути повышения эффективности и экологической безопасности транспортной системы Астрахани / В. В. Балакин, Я. В. Галанюк, А. В. Бурятинская, Н. С. Гаврилова, А. А. Желтоногова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 115—128.

Об авторах:

Балакин Владимир Васильевич — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; balakin-its@yandex.ru

Галанюк Яна Владимировна — главный специалист отдела ОКС ГКУ АО «Астраханьавтодор». Российская Федерация, 404000, г. Астрахань, ул. Раскольникова, 10В; gyv_27@icloud.com

Бурятинская Анна Валерьевна — приемосдатчик груза и багажа УЭТС, Астраханский филиал ООО «Газпромнефтепереработка». Российская Федерация, 404000, г. Астрахань, с. Джанай; anya.meschckova 96@mail.ru

Гаврилова Наталия Сергеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; natasha.konfetka.0099a@mail.ru

Желтоногова Алина Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; serbakovaalina11@gmail.com

Vladimir V. Balakin[a], Yana V. Galanyuk[b], Anna V. Buryatinskaya[c], Natalia S. Gavrilova[a], Alina A. Zheltonogova[a]

[a] Volgograd State Technical University

[b] JSC "Astrakhanavtodor"

[c] Astrakhan Branch of "Gazpromneftepererabotka" LLC

CURRENT PROBLEMS AND WAYS TO IMPROVE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY TRANSPORT SYSTEM OF ASTRAKHAN

In accordance with the main provisions of the Transport Strategy of the Russian Federation, the reliability and environmental safety of the functioning of urban transport systems is ensured when implementing an innovative variant of their development. The main shortcomings of the highway network of the Astrakhan region and the transport system of Astrakhan are highlighted, which require elimination during the implementation of the municipal program for the development of the Astrakhan territorial transport system. The implementation of the proposed measures to improve the efficiency and environmental safety of the transport system is possible both in the conditions of operation of the existing transport infrastructure, and in the process of modernization of the objects of the road transport complex of the city and the region as a whole. When determining the priority directions for the development of the transport system of Astrakhan, local natural conditions and features of the historically developed layout of the city are taken into account.

K e y w o r d s: transport system, traffic capacity of the road network, acoustic mode of building, gas pollution of atmospheric air, environmental safety.

For citation:

Balakin V. V., Galanyuk Ya. V., Buryatinskaya A. V., Gavrilova N. S., Zheltonogova A. A. [Current problems and ways to improve efficiency and environmental safety transport system of Astrakhan]. *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], 2021, iss. 4, pp. 115—128.

About authors:

Vladimir V. Balakin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; balakin-its@yandex.ru

Yana V. Galanyuk — Chief Specialist, JSC "Astrakhanavtodor". 10V, Raskolnikov st., Astrakhan, 404000, Russian Federation; gyv_27@icloud.com

Anna V. Buryatinskaya — Cargo and Baggage Receiver UETS, Astrakhan Branch of "Gazpromneftepererabotka" LLC. Janay village, Astrakhan, 404000, Russian Federation; anya.meschckova 96@mail.ru

Natalia S. Gavrilova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; natasha.konfetka.0099a@mail.ru

Alina A. Zheltonogova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; serbakovaalina11@gmail.com

УДК 711.7:656.135:502.3

О. Е. Емельянова, К. А. Емельянова, И. С. Тараненко

Волгоградский государственный технический университет

НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ ГРАДОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛГОГРАДА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

В статье рассматривается возможность улучшения экологической безопасности градостроительной системы г. Волгограда, оптимизации грузовых автоперевозок за счет оптимизации технологического процесса; представлен анализ системы доставки грузов, осуществляемой предприятием ООО «Волгоградвнештранс-Сервис», определены основные параметры, характеристики и схемы маршрутов. В качестве оптимизации технологической схемы доставки предложены мероприятия по совершенствованию маршрута доставки и графика работы водителей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительная система региона, градоэкология, экологическая безопасность, транспортная логистика, автомобильные грузовые перевозки.

В настоящее время активно используются градостроительные методы уменьшения отрицательных последствий вмешательства человека в природу на региональном и локальном уровнях. Поэтому экологические проблемы в градостроительстве необходимо относить к первоочередным задачам, решение которых поможет обеспечить благоприятные условия жизнедеятельности населения, сохранить материально-технические объекты и устранить негативное воздействие антропогенных факторов от усиления процесса урбанизации.

В связи с этим градостроители, инженеры и архитекторы-проектировщики вынуждены искать новые пути развития городов, и в том числе транспортных систем. Применяемые современные методы формирования экологически благоприятной среды жизнедеятельности человека опираются на общие научно-теоретические и практические возможности инженерного и архитектурного проектирования, строительства и эксплуатации транспортных систем, объектов различного назначения в системе транспортного обеспечения регионов, городских и других территорий [1].

Проблемой многих крупнейших городов РФ является наличие в городской черте транзитного транспорта в виде больших грузовых автомобилей, совершающих перевозки грузов на большие расстояния. Совершенствование системы перевозок различных грузов является актуальной задачей не только для транспортной системы регионов и страны в целом, но и для предприятий разного уровня. Это связано с тем, что рационально выстроенные технологические маршруты автомобильных грузовых перевозок напрямую влияют на положительную динамику экономики предприятия, помогая предприятию сокращать риски и конкурировать на рынке транспортных услуг [2—4].

Актуальность данного исследования связана с тем, что процесс доставки грузов в последние годы претерпел значительные изменения, касающиеся в первую очередь роли автомобильного транспорта в системе доставки грузов. Если ранее транспортная система представляла собой самостоятельно

функционирующую структуру, имеющую собственные цели и задачи, то сейчас для достижения коммерческого успеха транспортная автомобильная система должна взаимодействовать с другими составными частями системы доставки, такими как складской комплекс, поставщики и потребители грузов.

Цели и задачи совершенствования транспортного обслуживания определяются более глобальными целями и задачами функционирования всей автомобильной транспортной системы. Структура грузопотока также претерпела изменения, которые напрямую связаны с увеличением номенклатуры грузов. Наконец, изменения коснулись условий организации процесса доставки. Появились новые требования, предъявляемые к доставке и обусловленные конкурентной борьбой на рынке товаров и транспортных услуг [5—7].

Становится очевидной необходимость оптимизации автомобильных перевозок и поиска новых конкурентных преимуществ, основными из которых сегодня являются повышение качества и снижение финансовых потерь от неэффективно организованных перевозок, предоставление большого спектра услуг, улучшение обслуживания клиентуры, своевременное реагирование на изменение транспортных услуг. В настоящее время в России, и в Волгоградской области в частности, реализуется большое количество грузовых автомобильных перевозок. За последние годы их объемы в регионе существенно выросли: увеличились объемы грузопотоков и дорожного строительства как на региональном, так и на муниципальном уровне.

Решение вопросов автомобильной транспортировки грузов является задачей не только регионального масштаба, но и федерального уровня. Поскольку автомобильное транспортное обеспечение хозяйственной деятельности страны является регионально значимым процессом, обеспечивающим эффективные подходы к организации всего производственного комплекса операций транспортного процесса, который включает большое количество действий (погрузка грузов, транспортировка на подходящем подвижном составе, разгрузка грузов у получателя, складирование грузов), оно должно осуществляться на высоком уровне[1] [8—10].

Любая хозяйственная система в процессе функционирования и развития сталкивается с необходимостью найти резервы повышения ее конкурентоспособности. В приоритете формирования конкурентных преимуществ во главу угла ставится реализация таких принципов управления, которые обеспечат взаимодействие снабженческих, производственных и распределительных процессов максимально эффективным образом [11].

На современном этапе развития экономики новым подходом является управление на принципах системного логистического подхода. Принципиальная особенность логистики заключается в освобождении от классических академических принципов и схем мышления, в оптимальном синтезе инструментария фундаментальных и прикладных наук [12].

В России имеется большое количество транспортно-логистических предприятий, осуществляющих внутренние и внешние перевозки. По состоянию на 2020 г. их число составляет порядка 250 предприятий. В Волгоградском регионе организации такого спектра услуг представлены крупными предприятиями, например DHL (DHL International GmbH) с годовым объемом

[1]Грузоперевозки по России. URL: itecorp.ru.

перевозок 55 000 т [8], а также средними и мелкими предприятиями: ООО «Байкал-Сервис ТК» и Итеко (ITECO Corporation) с годовым объемом перевозок 38 500 и 19 800 т соответственно[2] [8, 11].

Целью данного исследования является совершенствование маршрутов автомобильной перевозки больших по тоннажу грузов предприятием ООО «Волгоградвнештранс-Сервис», находящимся в Волгограде.

ООО «Волгоградвнештранс-Сервис» по праву считается одним из лучших предприятий Волгоградской области, которое является современным транспортно-экспедиторским предприятием, работающим в Поволжском регионе и осуществляющим доставку отдельных и сборных грузов любых объемов и тоннажа, в том числе негабаритных и тяжеловесных, в любую точку России, стран СНГ, Европы и Азии.

Любое транспортное предприятие, вне зависимости от уровня успешности ведения бизнеса и многолетнего опыта, нуждается в постоянном совершенствовании существующих и отработанных технологических схем поставок грузов автомобильным транспортом. Это связано с необходимостью их постоянной адаптации к изменяющимся условиям рынка транспортно-экспедиторских услуг, требованиям заказчиков и поставщиков.

В рамках настоящей работы авторами был проведен анализ системы доставки оборудования для нефтяной промышленности, используемой данным предприятием. По результатам исследования были установлены следующие особенности работы предприятия:

- масса перевезенного груза (оборудования) ежегодно растет, что говорит о повышении спроса на доставку данного вида груза;
- масса перевезенного груза по месяцам характеризуется значительной неравномерностью, что обусловлено нестабильностью потребительского спроса;
- наибольший грузовой поток приходится на последний квартал года, это объясняется тем, что в данном квартале закладываются перевозки с начала следующего года, так как январь и февраль характеризуются плохими погодными условиями для автотранспорта;
- основным направлением перевозок оборудования является направление Волгоград — Германия.

Проведенный анализ этапа погрузки в системе доставки оборудования для нефтяной промышленности, выполняемого ООО «Волгоградвнештранс-Сервис» по направлению Волгоград — Германия, позволил определить основные показатели действующей схемы доставки:

- среднее время ожидания погрузки составляет 4,4 мин, распределение ожидания подчиняется показательному закону;
- среднее время маневрирования автомобиля составляет 3 мин, распределение подчиняется показательному закону;
- среднее время простоя под погрузкой составляет 37 мин, распределение подчиняется нормальному закону;
- среднее время оформления документов составляет 9,6 мин, распределение подчиняется нормальному закону.

[2] Там же.

Таким образом, этап погрузки и оформления документов занимает оптимальное количество времени — 60 мин, в этом процессе нет резервов для оптимизации по сокращению временных затрат.

Общее расстояние автомобильного маршрута по доставке оборудования для нефтяной промышленности ООО «Волгоградвнештранс-Сервис» Волгоград — Кельн составляет 3469 км, время прохождения маршрута — 51 ч.

Рассмотренные характеристики технологической схемы доставки груза автотранспортом по направления Волгоград — Германия (г. Кельн) показывают: действующая схема может быть улучшена, что позволит повысить эффективность работы предприятия, что, в свою очередь, может стать основой для дальнейшего сохранения конкурентоспособности предприятия по заданному направлению.

В качестве совершенствования системы доставки оборудования для нефтяной промышленности ООО «Волгоградвнештранс-Сервис» авторы предлагают рассматривать оптимизацию технологических схем путем корректировки маршрута доставки и времени работы водителей. Так, в табл. 1 приводится сравнение существующего маршрута Волгоград — Германия (Кельн) по доставке грузов. Результаты расчета времени доставки груза из Волгограда в Германию представлены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика существующего и предлагаемого маршрутов при доставке оборудования для нефтяной промышленности

Показатель	Существующий маршрут	Предлагаемый маршрут
Годовая поставка, тыс. т.	800	
Маршрут движения	Волгоград — Новоаннинский — Новая Усмань — Орел — Минск — Вильнюс — Быдгощ — Берлин — Кельн	Волгоград — Бол. Липовица — Михайлов — Рославль — Бобруйск — Брест — Варшава — Франкфурт-на-Одере — Ганновер — Кельн
Расстояние, км, в т. ч. по:	3469	3325
России	1393	1387
Белоруссии	483	623
Литве	210	0
Польши	803	655
Германии	580	660
Пограничные переходы	1. РФ, г. Красный — Республика Беларусь, г. Рядьки. 2. Республика Беларусь, г. Каменный Лог — Литва, г. Мядининкай. 3. Страны являются участниками Евросоюза, трасса Е67. 4. Страны являются участниками Евросоюза, трасса Е28	1. РФ, г. Красный — Республика Беларусь, г. Рядьки. 2. Республика Беларусь, Брестская область, г. Брест — Польша, г. Тересполь. 3. Страны являются участниками Евросоюза, трасса Е28

Таблица 2

Результаты расчетов времени движения по маршрутам

Маршрут	Страна	Расстояние, км	Техническая скорость, км/ч	Время движения, ч
Существующий	Россия	1393	65	22
	Беларусь	483	70	7
	Литва	210	75	3
	Польша	803	75	11
	Германия	580	75	8
	Итого	3469	—	51
Предлагаемый	Россия	1387	65	22
	Белоруссия	623	70	9
	Литва	0	75	0
	Польша	655	75	9
	Германия	660	75	9
	Итого	3325	—	49

Техническая скорость автомобиля марки КамАЗ 6520 (бортовой автомобиль грузоподъемностью 20 т) по территории принята для различных стран разной в зависимости от качества дорожного покрытия. Средняя скорость составит: по России — 65 км/ч; Беларуси — 70 км/ч; Польши, Германии и Литве — 75 км/ч.

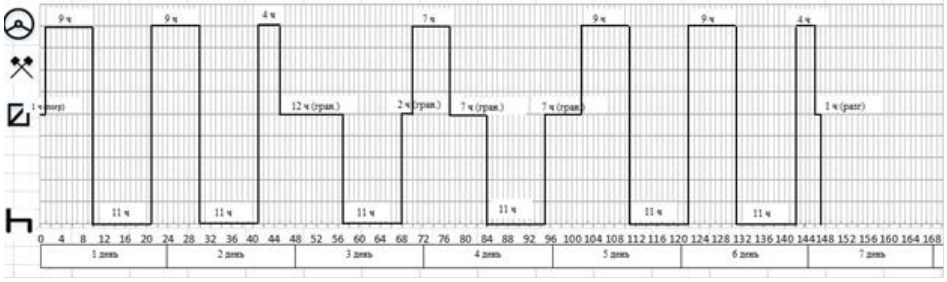
Время таможенного оформления составило 12 ч, время погрузки и разгрузки —1 ч, пересечение границ в среднем занимает 14 ч. По результатам анализа временных затрат были составлены графики работы водителей по существующему и предлагаемому маршрутам (рис. 1).

С учетом разработанных графиков работы водителя и скорректированного маршрута движения была проведена оптимизация технологической схемы доставки грузов автотранспортом по маршруту РФ, г. Волгоград — Германия, г. Кельн (рис. 2) [13—15].

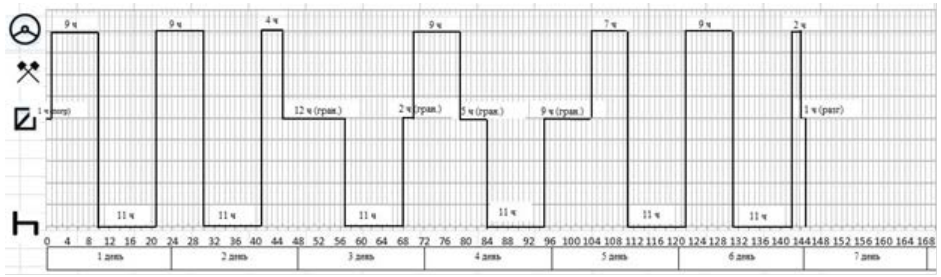
Проведенный сравнительный анализ технологических схем доставки оборудования, выполняемой ООО «Волгоградвнештранс-Сервис» и предложенной авторами, показывает, что благодаря мероприятиям по оптимизации существующей схемы доставки нефтяного оборудования по маршруту Волгоград — Германия возможна ее оптимизация.

При обоснования мероприятий по оптимизации системы доставки крупногабаритных грузов были проанализированы технико-эксплуатационные показатели по существующему и проектируемому вариантам. На основании этого анализа были выявлены направления повышения эффективности при возможной оптимизации данного процесса.

При доставке груза возникает также необходимость выполнения других различных работ, связанных с транспортным процессом (прием груза у грузоотправителя и сдача его грузополучателю, сопровождение и охрана груза во время перевозки, оформление товарно-транспортных документов и т. д.) [14, 16—18]. Комплекс работ, связанных с транспортным процессом и выполняемых с момента приемки груза в пункте отправления до момента сдачи груза в пункте назначения, является транспортно-экспедиционной работой [16, 19, 20].

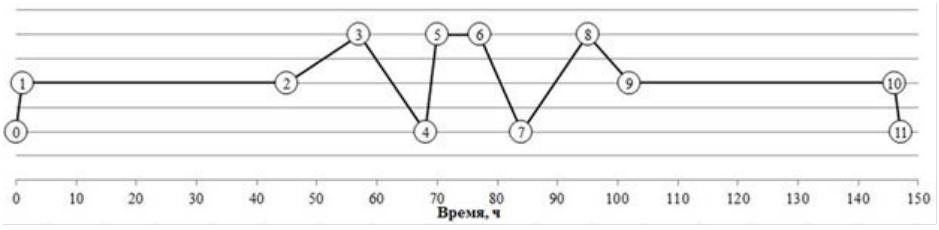


а

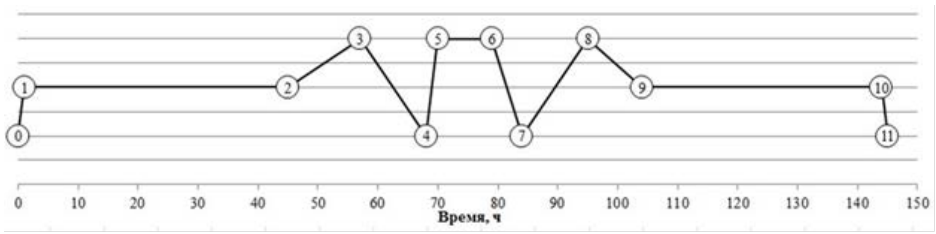


б

Рис. 1. Графики работы водителей: *а* — существующий маршрут; *б* — предлагаемый маршрут



а



б

Рис. 2. Технологические схемы перевозки нефтяного оборудования по маршруту Волгоград — Германия (г. Кельн): *а* — существующая; *б* — после оптимизации

Расчет эффективности предложенных мероприятий показал, что при их внедрении общий пробег по маршрутам сократится более чем на 4 % (144 км), продолжительность рейса — на 1,5 % (2 ч), себестоимость доставки — на 3,5 %.

Конкретная проблематика данных исследований находится в поле зрения общей задачи организации крупногабаритных перевозок на базе транспортных систем крупных и средних городов, которые накладывают ряд серьезных

технических ограничений, усложняющих процесс организации перевозок[3] [19, 21]. При доставке продукции появляется необходимость в применении более широкого использования маршрутов, а их планирование сопряжено с необходимостью учета большого количества технологических ограничений и обработки исходной информации значительного объема [18, 22].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кирясов А. С.* Формирование эффективной транспортно-логистической системы регионального уровня на основе концепции устойчивого развития // Инженерный вестн. Дона. 2013. № 1. URL: vdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1493.

2. *Дышекова З. З.* Транспортная логистика в управлении транспортным процессом на уровне региона // Известия Кабардино-Балкар. науч. центра РАН. 2007. № 3-1. С. 69—74.

3. *Алексиков С. В., Альшанова М. И.* Оценка надежности дорожной сети по состоянию покрытия // Жилищное хоз-во и коммун. инфраструктура. 2019. № 4(11). С. 92—97.

4. *Чернявский Ю. В., Чернявская Т. А.* Экология урбанизированных территорий и освоение подземного пространства городов : моногр. Волгоград : ВГТУ, 2017. 148 с.

5. *Наумов А. С., Улезько А. В.* Концептуальный и методический подходы к рационализации процессов формирования и использования парка грузовых автомобилей интегрированных агропромышленных формирований // Вестн. Воронеж. гос. аграр. ун-та. 2014. № 1-2. С. 40—41.

6. *Эйхлер Л. В.* Анализ рынка автотранспортных услуг Омского региона (на примере грузовых перевозок) // Приволжский науч. вестн. 2016. № 11(63).

7. *Юкиш В. Ф.* Тенденции развития транспортного комплекса России // Актуальные проблемы гуманитар. и естеств. наук. 2015. № 12. С. 83.

8. *Афанасьева И. И.* Организационно-экономические проблемы и перспективы формирования логистической системы распределения зерна в России // Инженерный вестн. Дона. 2014. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2325.

9. *Tihomirov S. I., Komarov Yu. Ya., Volchkov V. M*. Improving the quality of the investigation of a road traffic accident // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 786 : International sci. conf. “Interstroymeh-2019” (ISM-2019), Kazan, Russian Federation, Sept. 12—13, 2019. IOP Publ., 2020. 9 p. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/786/1/012075. URL: https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/786/1.

10. *Komarov Yu. Ya., Fedotov V. N.* The influence of fixed-route taxi on road accidents and air pollution // Transport. 2006. Vol. XXI. No. 1. Pp. 34—37.

11. *Хегай Ю. А.* Состояние и перспективы развития грузовых автомобильных перевозок в Российской Федерации //Теория и практика общественного развития. 2014. № 11.

12. *Суворова А. А., Иванова Л. Р.* Состояние российского рынка грузовых перевозок // Логистические системы в глобальной экономике. 2016. № 6. С. 548—550.

13. *Lighthill M. J., Whitham G. B.* On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads // Proc. R. Soc. London. Ser. A. 1955. Vol. 229. Pp. 281—345.

14. Environmentally Sustainable Transport. Futures, strategies and best practices: synthesis report of the OECD project on Environmentally Sustainable Transport (EST). Vienna, Austria, 2000.

15. *Litman T.* Evaluating Active Transportation Benefits and Costs. Victoria Transport Policy Institute, 2010. URL: www.vtpi.org/nmt-tdm.pdf.

16. White Paper — European transport policy for 2010: Time to Decide. Luxemburg : European Communities official publication, 2001.

17. Reconfigurating European Logistics System. Grafield School of Management, 1993. P. 373.

18. *Londe B. J. L., Powers R. F.* 21st Century Logistics Professionals. Ohio State University, 1994. P. 217.

19. Экономика автомобильного транспорта : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. Г. Будрин, Е. В. Будрина и др. ; под ред. Г. А. Кононовой. 3-е изд., стер. М. : Академия, 2008. 320 с.

20. Rense and Recycling Reserve Logistics Opportunity. Transmode Consultants Inc. and ICF Inc., 1993. P. 310.

[3] URL: https://cargo-cards.com/ru/directory/russia/logistics-companies.
URL: https://volgograd.baikalsr.ru.

21. *Ковалев В. А.* Организация грузовых автомобильных перевозок : учеб. пособие. Красноярск : КГТУ, 2000. 200 с.

22. *Глинянова И. Ю., Фомичев В. Т., Асанова Н. В.* Оценка токсичности атмосферного воздуха в обеспечении экологической безопасности населенных пунктов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 184—200.

© Емельянова О. Е., Емельянова К. А., Тараненко И. С., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Емельянова О. Е., Емельянова К. А., Тараненко И. С. Направления улучшения градоэкологического состояния Волгограда при оптимизации грузовых перевозок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 129—136.

Об авторах:

Емельянова Оксана Евгеньевна — канд. филос. наук, старший преподаватель каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Емельянова Ксения Александровна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28; sascha-06@mail.ru

Тараненко Илья Сергеевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; urbanistika-14@mail.ru

Oksana E. Emelyanova, Kseniya A. Emelyanova, Ilya S. Taranenko

Volgograd State Technical University

DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF THE URBAN-ECOLOGICAL CONDITION OF VOLGOGRAD IN THE OPTIMIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION

The article discusses the possibility of improving the environmental safety of the urban planning system of Volgograd, presents an analysis of the cargo delivery system carried out by the Volgogradvneshtrans-Service enterprise LLC, defines the main parameters, characteristics and route schemes. As an optimization of the technological scheme of delivery, measures are proposed to improve the delivery route and the work schedule of drivers.

K e y w o r d s: urban planning system of the region, urban ecology, environmental safety, transport logistics, road freight transportation.

For citation:

Emelyanova O. E., Emelyanova K. A., Taranenko I. S. [Directions of improvement of the urban-ecological condition of Volgograd in the optimization of freight transportation]. *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], 2021, iss. 4, pp. 129—136.

About authors:

Oksana E. Emelyanova — Candidate of Philosophy, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Kseniya A. Emelyanova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; sascha-06@mail.ru

Ilya S. Taranenko — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; urbanistika_14@mail.ru

УДК 624.04:519.6

М. И. Бочков

Волгоградский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ ОТ КИНЕМАТИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ СВЯЗЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА

Задачи расчета конструкций и сооружений с односторонними связями с изменяющейся в процессе нагружения расчетной схемой, т. е. конструктивно-нелинейные задачи, часто встречаются в инженерной практике. В данной статье для расчета таких задач с учетом податливости односторонних опор или наличия зазоров между опорами и конструкцией используется метод конечных элементов в форме классического смешанного метода. В качестве рассматриваемых выбраны задачи кинематического перемещения опор как часто встречающиеся задачи, возникающие вследствие выпучивания и просадки грунтового основания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: многопролетная балка, дискретные односторонние связи, рабочая схема, пошаговый анализ, МКЭ в форме классического смешанного метода, смещение связей.

В настоящее время численное решение задач расчета конструкций с односторонними связями выполняется, как правило, на основе традиционного метода конечных элементов в перемещениях. При этом задачи контакта конструкции или сооружения с континуальным односторонним основанием сводятся к задачам контакта с дискретными односторонними опорами. Разработкой численных методов решения таких задач на основе МКЭ занимались и занимаются многие исследователи [1—7]. Для моделирования односторонних связей используются различные схемы контактных конечных элементов [8—10]. Численная реализация решений контактных задач выполняется с использованием как методов нелинейного программирования [10, 11], так и пошаговых (инкрементальных) [12, 13]. Предпочтение отдается пошаговым методам, поскольку они позволяют получить решение на любом шаге нагружения и на любом этапе процесса возведения сооружения, а также на любом шаге по времени при динамическом расчете конструкций на односторонних опорах. В настоящей работе для расчета систем с односторонними связями используется разрабатываемый авторами метод конечных элементов в форме классического смешанного метода и алгоритм его реализации.

Применение этого метода позволяет выполнять верификацию результатов, полученных при использовании других методов, т. е. проверять достоверности решения.

На тех же примерах расчета многопролетных балок с односторонними опорами, приведенных в [14], проверим предлагаемый алгоритм расчета, отыскание рабочих схем и верификацию результатов, полученных в указанной работе. В табл. 1 приведен перечень примеров с исходными данными из [14] и результаты решений.

Таблица 1

Исходные данные и результаты решений [14]

№ примера	Изгибающие моменты						Перемещения узлов			
	M_1	M_2	$M_{2,5}$	M_3	M_4	M_5	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
1	8157,2	–6147,6	–6898,6	7347,2	–1837,6	0	–0,002	0	0	0
2	–1605,7	3208,9	–5893,6	0	0	0	0	0	1,58	3,16
3	7031	0	9439,7	–6898,6	0	0	1,9825	0	4,9801	9,9598
4	2696,6	671,78	–7103,7	0	0	0	–1,2	–1,25	7,72	2,8
5	–5083,2	0	0	0	0	0	2	5	8	11

Пример 1. Четырехпролетная балка с двусторонними жесткими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета. Жесткость балки EI = 762,5 т/м^2 (рис. 1, *а*).

Пример 2. Четырехпролетная балка с односторонними жесткими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета. Жесткость балки EI = 762,5 т/м^2 (рис. 1, *б*).

Пример 3. Четырехпролетная балка с односторонними жесткими опорами. Первая односторонняя опора имеет зазор. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета. Жесткость балки EI = 762,5 т/м^2 (рис. 1, *в*).

Пример 4. Четырехпролетная балка с односторонними упругими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета. Жесткость балки EI = 762,5 т/м^2. Жесткость упругих опор K = 389 т/м (рис. 1, *г*).

Пример 5. Четырехпролетная балка с односторонними жесткими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена выпучиванием первой односторонней опоры. Жесткость балки EI = 762,5 т/м^2 (рис. 1, *д*).

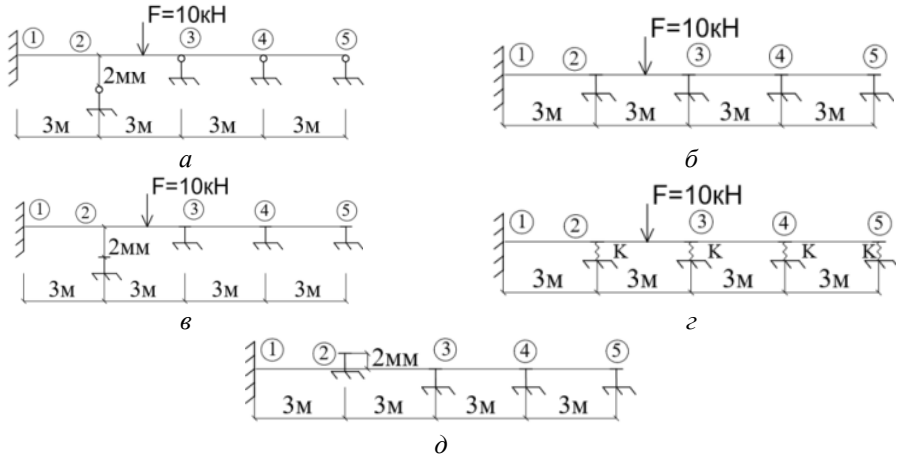


Рис. 1. Системы многопролетных балок с односторонними опорами

Для расчета систем предлагается алгоритм расчета, опубликованный в наших работах [15, 16].

Пример 1. Для решения задачи предлагается метод конечных элементов в форме классического смешанного метода. Основная система этого метода получается с помощью закрепления узлов односторонних связей и раскрепления внутренних усилий в пролетах (рис. 2).

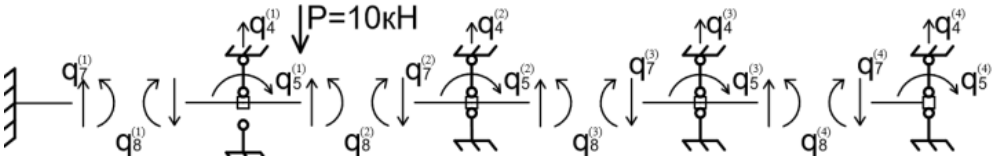


Рис. 2. Основная система метода конечных элементов в форме классического смешанного метода (пример 1)

На первой итерации примем расчетную схему, в которой односторонние связи приняты за двусторонние. Найдем величины перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (рис. 3).

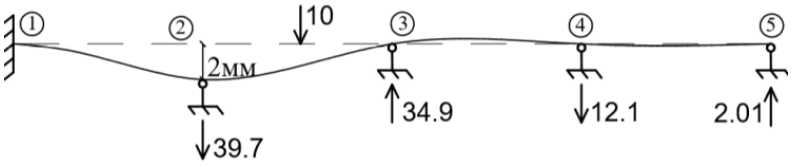


Рис. 3. Результаты расчета величин перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (пример 1)

Таким образом, все односторонние опоры работают в рабочем направлении, а зазоры не закрыты. Вследствие этого система принимается окончательной, расчет окончен.

Пример 2. Рассчитывается четырехпролетная балка с односторонними жесткими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета.

Для решения задачи предлагается метод конечных элементов в форме классического смешанного метода. Основная система этого метода получается с помощью закрепления узлов односторонних связей и раскрепления внутренних усилий в пролетах (рис. 4).

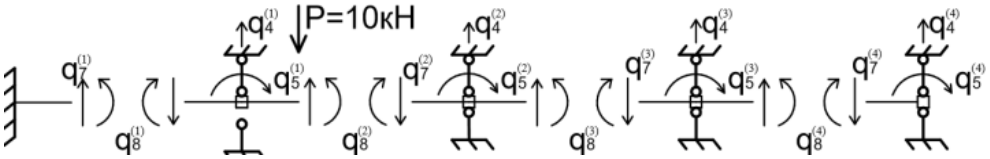


Рис. 4. Основная система метода конечных элементов в форме классического смешанного метода (пример 2)

На первой итерации примем расчетную схему, в которой односторонние связи приняты за двусторонние. Найдем величины перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (рис. 5).

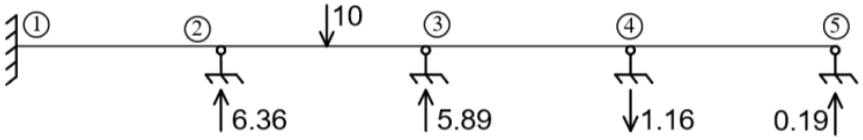


Рис. 5. Результаты расчета величин перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (пример 2)

В результате получаем:

R_1 = 6,36 кН; R_2 = 5,89 кН; R_3^* = 1,16 кН; R_4 = 0,19 кН.

1. Из опоры 4, в которой находится максимальное усилие, удаляется двухсторонняя опора (рис. 6).

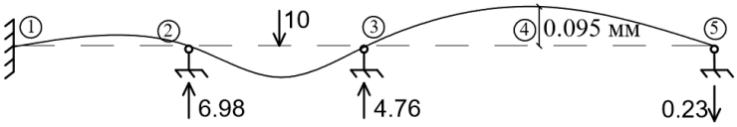


Рис. 6. Результаты расчета по опоре 4

В результате получаем:

R_1 = 6,98 кН; R_2 = 5,76 кН; Δ_3 = 0,095 мм; R^*_4 = 0,23 кН.

2. Из опоры 5, в которой находится максимальное усилие, удаляется двухсторонняя опора (рис. 7).

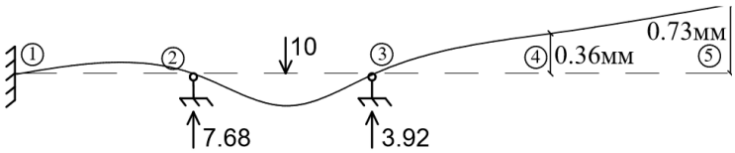


Рис. 7. Результаты расчета по опоре 5

В результате получаем:

R_1 = 7,68 кН; R_2 = 3,92 кН; Δ_3 = 0,36 мм; Δ_4 = 0,73 мм.

Таким образом, все односторонние опоры работают в рабочем направлении, а зазоры не закрыты. Вследствие этого система принимается окончательной, расчет окончен.

Пример 3. Рассчитывается четырехпролетная балка с односторонними жесткими опорами. Первая односторонняя опора имеет зазор. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета.

Для решения задачи предлагается метод конечных элементов в форме классического смешанного метода. Основная система этого метода получается с помощью закрепления узлов односторонних связей и раскрепления внутренних усилий в пролетах (рис. 8).

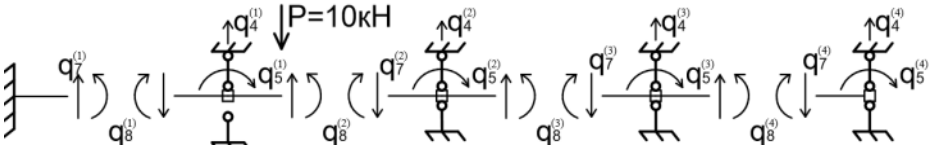


Рис. 8. Основная система метода конечных элементов в форме классического смешанного метода (пример 3)

3. На первой итерации примем расчетную схему, в которой односторонние связи приняты за двусторонние. Найдем величины перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (рис. 9).

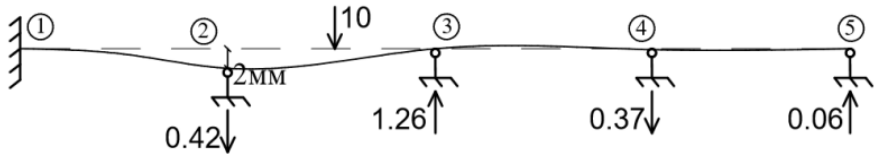


Рис. 9. Результаты расчета величин перемещений (пример 3)

В результате получаем:

R_1 = 0,42 кН; R_2^* = 1,26 кН; R_3 = 0,37 кН; R_4 = 0,06 кН.

4. Из опоры 2, в которой находится максимальное усилие, удаляется двухсторонняя опора (рис. 10).

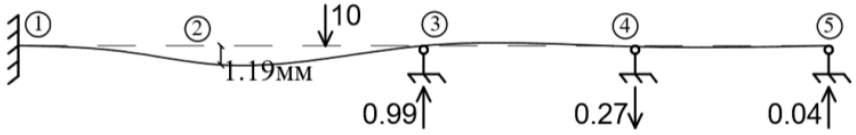


Рис. 10. Результаты расчета по опоре 2 (пример 3)

В результате получаем:

Δ_1 = 1,19 мм; R_2 = 0,99 кН; R_3^* = 0,27 кН; R_4 = 0,04 кН.

5. Из опоры 4, в которой находится максимальное усилие, удаляется двухсторонняя опора (рис. 11).

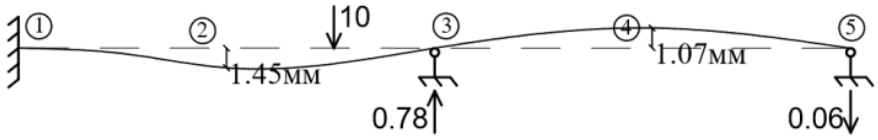


Рис. 11. Результаты расчета по опоре 4 (пример 3)

В результате получаем:

Δ_1 = 1,45 мм; R_2 = 0,78 кН; Δ_3 = 1,07 мм; R_4^* = 0,06 кН.

6. Из опоры 5, в которой находится максимальное усилие, удаляется двухсторонняя опора (рис. 12).

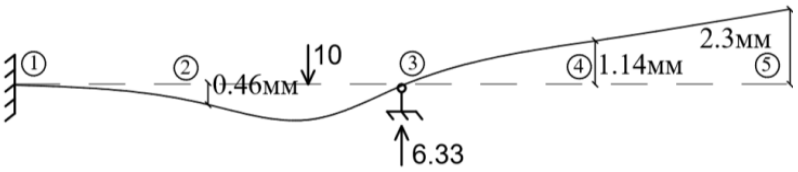


Рис. 12. Результаты расчета по опоре 5 (пример 3)

Решение системы уравнений представлено ниже.

Перемещения всех сечений не исчерпывают зазор; следовательно, переходим к проверке усилий.

Таким образом, все односторонние опоры работают в рабочем направлении, а зазоры не закрыты. Вследствие этого система принимается окончательной, расчет окончен.

Пример 4. Рассчитывается четырехпролетная балка с односторонними упругими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена сосредоточенной нагрузкой в середине второго пролета.

Для решения задачи предлагается метод конечных элементов в форме классического смешанного метода. Основная система этого метода получается с помощью закрепления узлов односторонних связей и раскрепления внутренних усилий в пролетах (рис. 13).

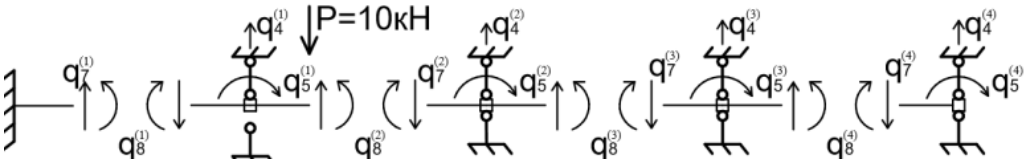


Рис. 13. Основная система метода конечных элементов в форме классического смешанного метода (пример 4)

1. На первой итерации примем расчетную схему, в которой односторонние связи приняты за двусторонние. Найдем величины перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (рис. 14).

Система описывается системой уравнений.

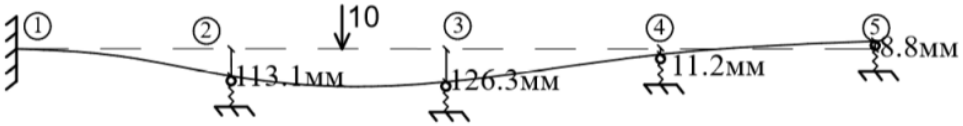


Рис. 14. Результаты расчета величин перемещений (пример 4)

В результате получаем:

Δ_1 = 113,1 мм; Δ_2 = 126,3 мм; Δ_3 = 11,2 мм; Δ_4^* = –8,8 мм.

2. Из опоры 5, в которой находится максимальное перемещение, удаляется опора (рис. 15).

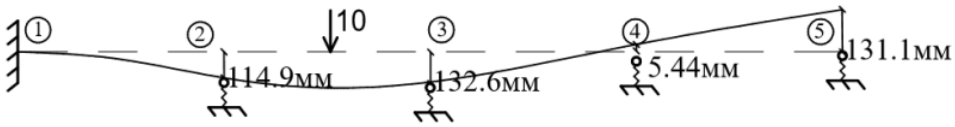


Рис. 15. Результаты расчета по опоре 5 (пример 4)

В результате получаем:

Δ_1 = 114,9 мм; Δ_2 = 132,6 мм; Δ_3 = –5,44 мм; Δ_4 = –131,1 мм.

3. Из опоры 4, в которой находится максимальное перемещение, удаляется опора (рис. 16).

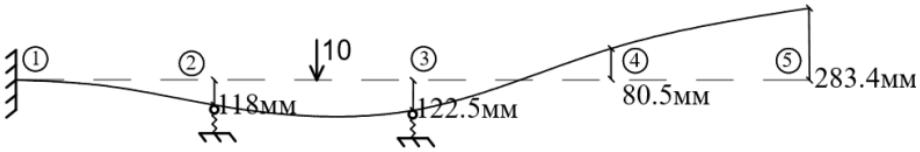


Рис. 16. Результаты расчета по опоре 4 (пример 4)

В результате получаем:

Δ_1 = 118 мм; Δ_2 = 122,5 мм; Δ_3 = –80,5 мм; Δ_4 = –283,4 мм.

Перемещения всех сечений не исчерпывают зазор; следовательно, переходим к проверке усилий.

Таким образом, все односторонние опоры работают в рабочем направлении, а зазоры не закрыты. Вследствие этого система принимается окончательной, расчет окончен.

Пример 5. Рассчитывается четырехпролетная балка с односторонними жесткими опорами. Левый край балки жестко закреплен. Балка загружена выпучиванием первой односторонней опоры.

Для решения задачи предлагается метод конечных элементов в форме классического смешанного метода. Основная система этого метода получается с помощью закрепления узлов односторонних связей и раскрепления внутренних усилий в пролетах (рис. 17).

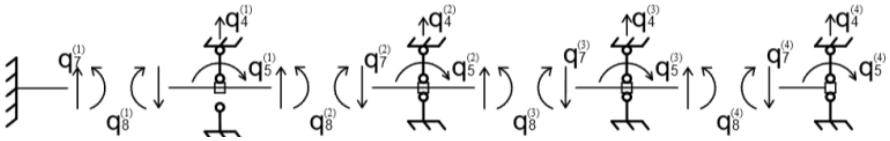


Рис. 17. Основная система метода конечных элементов в форме классического смешанного метода (пример 5)

1. На первой итерации примем расчетную схему, в которой односторонние связи приняты за двусторонние. Найдем величины перемещений в системе уравнений по направлениям опорных связей и реакций (рис. 18).

Система описывается системой уравнений.

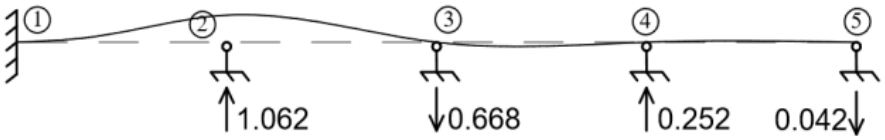


Рис. 18. Результаты расчета величин перемещений (пример 5)

В результате получаем:

R_1 = 1,062 кН; R_2^* = 0,668 кН; R_3 = 0,252 кН; R_4 = 0,42 кН.

2. Из опоры 3, в которой находится максимальное перемещение, удаляется опора (рис. 19).

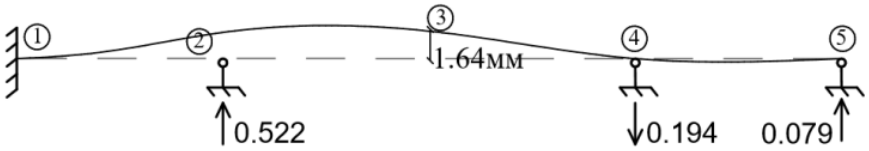


Рис. 19. Результаты расчета по опоре 3 (пример 5)

В результате получаем:

R_1 = 0,522 кН; Δ_2 = 0,668 мм; R_3^* = 0,194 кН; R_4 = 0,079 кН.

3. Из опоры 4, в которой находится максимальное перемещение, удаляется опора (рис. 20).

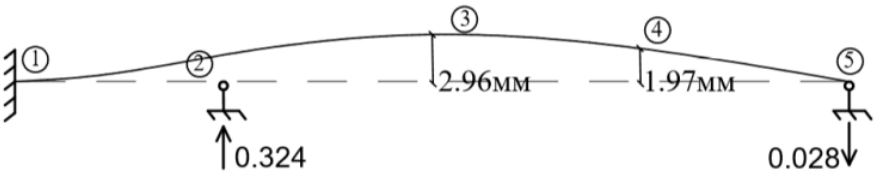


Рис. 20. Результаты расчета по опоре 4 (пример 5)

В результате получаем:

R_1 = 0,324 кН; Δ_2 = 2,96 мм; Δ_3 = 1,97 мм; R_4^* = 0,028 кН.

4. Из опоры 5, в которой находится максимальное перемещение, удаляется опора (рис. 21).

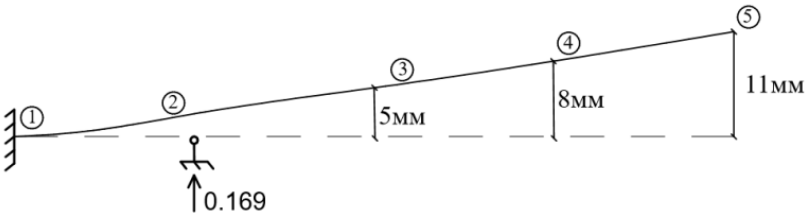


Рис. 21. Результаты расчета по опоре 5 (пример 5)

В результате получаем:

R_1 = 0,196 кН; Δ_2 = 5 мм; Δ_3 = 8 мм; Δ_4 = 11 мм.

Перемещения всех сечений не исчерпывают зазор; следовательно, переходим к проверке усилий.

Таким образом, все односторонние опоры работают в рабочем направлении, а зазоры не закрыты. Это свидетельствует тому, что расчетная система не изменится.

В табл. 2 представлены результаты сравнений расчетов по смешанной форме МКЭ и расчетов, проведенных в [14].

Таблица 2

Сравнение результатов расчета по смешанной форме МКЭ и результатов расчета, полученных в [14]

Величина	Ван и Ловцов	Смешанная форма МКЭ	Расхождение, %
Пример 1			
M_1	8157,2	8157,2	0
M_2	–6147,6	–6147,8	0
$M_{2,5}$	–6898,6	–6898,6	0
M_3	7347,2	7350,5	0,04
M_4	–1837,6	–1837,6	0
Пример 2			
M_2	3208,9	3214,3	0,2
$M_{2,5}$	–5893,6	–5892,9	0
Z_2	1,9825	1,9826	0
Z_3	0,00158	0,00158	0
Z_4	0,00316	0,00316	0
Пример 3			
M_1	7031	7031	0
$M_{2,5}$	9439,7	9492,2	0,55
Z_2	1,9825	1,9826	0
Z_3	4,9801	4,9795	0,01
Z_4	9,9598	9,95902	0,008
Пример 4			
M_1	2696,6	2645,2	1,9
M_2	671,78	708,23	5,14
$M_{2,5}$	–7103,7	–7145,9	0,59
Z_2	–0,0012	–0,00118	1,7
Z_3	–0,00125	–0,00123	1,6
Z_4	0,00772	0,00805	4,1
Z_5	0,0028	0,00283	1,06
Пример 5			
M_1	–5083,2	–5083,3	0
$M_{2,5}$	0	0	0
Z_2	0,005	0,005	0
Z_3	0,008	0,008	0
Z_4	0,011	0,011	0

Выводы

В данной работе доказана применимость разработанного нами ранее алгоритма к задачам расчета систем на просадку и выпучивание опор. Результаты расчета показали точное совпадение результатов для жестких односторонних и двусторонних опор и удовлетворительную точность для балки на винклеровском основании. В дальнейшем планируется рассмотрение задач, учитывающих другие модели грунтового основания, например двухпараметрической модели Пастернака, и одностороннюю работу сооружения на грунтовом основании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. *Лукашевич А. А., Розин Л. А.* О решении контактных задач строительной механики с односторонними связями и трением методом пошагового анализа // Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 1. P. 7.

3. *Campos L. T., Oden J. T., Kikuchi N.* A numerical analysis of a class of contact problems with friction in elastostatics // Comp. Meth. in Appl. Mechanic and Engineering. 1982. Vol. 34. Pp. 821—845.

4. *Laursen T. A., Kim T. Y., Dolbow J. E.* A mortared finite element method for frictional contact on arbitrary surfaces // Computational Mechanics. 2007. Vol. 39. Pp. 223—235.

5. *Kikuchi N., Oden J. T.* Contact problems in elasticity: a study of variational inequalities and finite element methods. SIAM studies in Applied and Numerical Mathematics. Philadelphia, 1988. 509 p.

6. *Laursen T. A., Yang B.* A contact searching algorithm including bounding volume trees applied to finite sliding mortar formulations // Computational Mechanics. 2008. Vol. 41. Pp. 189—205.

7. *Wriggers P., Nackenhorst U.* Analysis and Simulation of Contact Problems. Berlin : Springer, 2006. 395 p.

8. *Перельмутер А. В.* Использование методов квадратичного программирования для расчета систем с односторонними связями // Исследования по теории сооружений. 1972. Вып. 19. С. 138—147.

9. *Перельмутер А. В.* К расчету систем с односторонними дискретными связями // Строительная механика и расчет сооружений. 1976. № 1. С. 59—61.

10. *Кравчук А. С.* Вариационный метод в контактных задачах. Состояние проблемы, направления развития // Прикладная математика и механика. 2009. № 3. С. 492—502.

11. *Panagiotopoulos P. D.* A nonlinear programming approach to the unilateral contact and friction-boundary value problem in the theory of elasticity // Ingenirur-Archiv. 1975. Vol. 44. No. 6. Pp. 421—432.

12. *Francawilla A., Zienkiewicz O. C.* A note on numerical computation of elastic contact problem // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 1975. Vol. 9. No. 4. Pp. 913—924.

13. *Люминарский И. Е.* Расчет упругих систем с односторонними связями. М. : Изд-во МГИУ, 2006. 308 с.

14. *Ван Н. Х., Ловцов А. Д.* Применение смешанного метода ЛЗД для расчета балок на выпучивание (просадку) дискретных односторонних опор // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2015. № 1. С. 281—286.

15. *Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Бочков М. И.* Расчет многопролетных балок с односторонними связями по МКЭ в форме классического смешанного метода // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. № 48(67). С. 94—108.

16. *Игнатьев А. В., Бочков М. И., Иванов С. Ю.* Методика расчета балок с односторонними связями на действие подвижной нагрузки с помощью МКЭ в форме классического смешанного метода // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 49—57.

© Бочков М. И., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Бочков М. И. Определение напряженно-деформированного состояния систем с односторонними связями от кинематического смещения связей с помощью метода конечных элементов в форме классического смешанного метода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 137—147.

Об авторе:

Бочков Максим Иванович — инженер-программист, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; maxim.bohkov@yandex.ru

Maxim I. Bochkov

Volgograd State Technical University

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF SYSTEMS WITH UNILATERAL CONNECTIONS FROM THE KINEMATIC DISPLACEMENT OF CONNECTIONS USING THE FINITE ELEMENT METHOD IN THE FORM OF THE CLASSICAL MIXED METHOD

Problem of analysis of structures with unilateral constraints, with evolving in the process of loading design scheme, also known as constructively nonlinear problems, occurred in engineering practice quite often. In this article for the calculation of such tasks, taking into account the compliance of the unilateral supports or the presence of clearances between the supports and construction is used the finite element method in the form of classical mixed method. The problems of kinematic movement of supports, often common problems that arise due to buckling and subsidence of the ground base, are selected as the considered problems.

K e y w o r d s: multi-span beam, discrete unilateral constraints, step-by-step analysis, working scheme, FEM in the form of classical mixed method, displacement of connections.

For citation:

Bochkov M. I. [Determination of the stress-strain state of systems with unilateral connections from the kinematic displacement of connections using the finite element method in the form of the classical mixed method]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 137—147.

About author:

Maxim I. Bochkov — Software Engineer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; maxim.bohkov@yandex.ru

УДК 69.057.5:691.1

С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, Г. О. Акопян, М. Р. Степанян

Волгоградский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье отмечается значительная роль монолитного строительства, занимающего наряду с модульным лидирующее положение в современной строительной отрасли. Подчеркивается, что в связи с развитием технологий монолитного строительства возникает необходимость разработки новых формообразующих систем, отличающихся от существующих легкостью, что, в свою очередь, приводит к снижению затрат, а также предопределяет технологичность опалубочных систем. Демонстрируется, что при разработке новых или при выборе уже существующих опалубочных систем необходимо обратить внимание на такие их характеристики, как долговечность, прочность, относительная стоимость, водостойкость, пожаробезопасность и экологичность. На основе анализа ряда научных публикаций выявлено, из каких композитных материалов в настоящее время в основном изготавливаются опалубочные системы. Кроме того, отмечается огромный интерес среди специалистов и исследователей к вопросам разработки и применения несъемных опалубок в строительстве высотных зданий.

Авторами предлагаются два вида сборно-разборных опалубочных систем: из высокопрочного пластика и искусственной пористой древесины для изготовления палубы (обивки). Приводятся конструктивные особенности разработанных формообразующих систем, дается описание некоторых процессов технологической последовательности устройства. Выполнено сравнение предлагаемых опалубочных систем с системами, разработанными ранее, с точки зрения затрат труда на их устройство и разборку.

К л ю ч е в ы е с л о в а: формообразующие конструкции, сборно-разборные и несъемные, легкость, технологичность, конструктивные особенности, характеристики.

В связи с тем, что в настоящее время наряду с модульным строительством монолитное также является самым высокотехнологичным видом строительства зданий и сооружений во всем мире и по-прежнему занимает лидирующую позицию [1], развиваются не только технологии производства монолитных железобетонных работ, но и применяемые формообразующие конструкции, вспомогательные устройства.

Монолитные здания обладают целым рядом преимуществ. Так, в силу технологических особенностей они более устойчивы к влиянию техногенных и прочих неблагоприятных факторов окружающей среды, обладают высокой сейсмоустойчивостью, что обеспечивается жесткостью и особой прочностью конструкций [2].

Применение опалубочных систем из легких конструкций приводит к минимизации затрат [3, 4], особенно при строительстве высотных зданий и реконструкции существующих строительных систем [5, 6].

Кроме легкости основными критериями при разработке формообразующих конструкций являются технологичность установки и демонтажа, долговечность, прочность, относительная стоимость, водостойкость, пожаробезопасность и, что немаловажно, экологичность. В связи с тем, что в последнее время особую популярность приобретают несъемные опалубочные системы, одним из основных критериев становится эстетика.

Анализ научных публикаций [7—9] по исследуемой теме показывает, что основные разработки по опалубочным системам из композитных материалов относятся к несъемным опалубкам. Например, из отходов древесины [10], «биоресурсных материалов в сочетании с цементирующей матрицей» [11], стеклопластика [12], пенополистирола, упрочненного картона, композитных тканевых материалов, искусственной пористой древесины, конструкционных материалов фибробетона, PENACOMa и др.

В статье [10] подчеркивается также, «что древесно-цементные композитные панели являются перспективной альтернативой для разработки облегченной несъемной опалубочной системы, способной способствовать тепловому и акустическому комфорту зеленых зданий». В работах [10, 11] в целом отмечается не только высокая прочность, водостойкость и огнестойкость предлагаемых опалубочных систем, но и экологичность принятых решений, решений, способствующих устойчивому развитию строительного производства, основные принципы которого рассмотрены в работах [13].

Важность разработки новых высокотехнологичных опалубочных систем из экологичных материалов рассмотрена авторами в других публикациях [14—16], где предложены три вида опалубки для усиления колонн, балок, подпорных стен:

инвентарной пневматической опалубки из армированной виниловой ткани;

инвентарной универсальной опалубки из искусственной пористой древесины;

несъемной опалубки из конструкционного материала PENACOM, при этом не исключается возможность изготовления из фибробетона.

На рис. 1—3 приведены фрагменты монтажа разработанных опалубочных систем.

Рис. 1. Фрагменты монтажа пневматической опалубки при усилении железобетонных колонн [14]

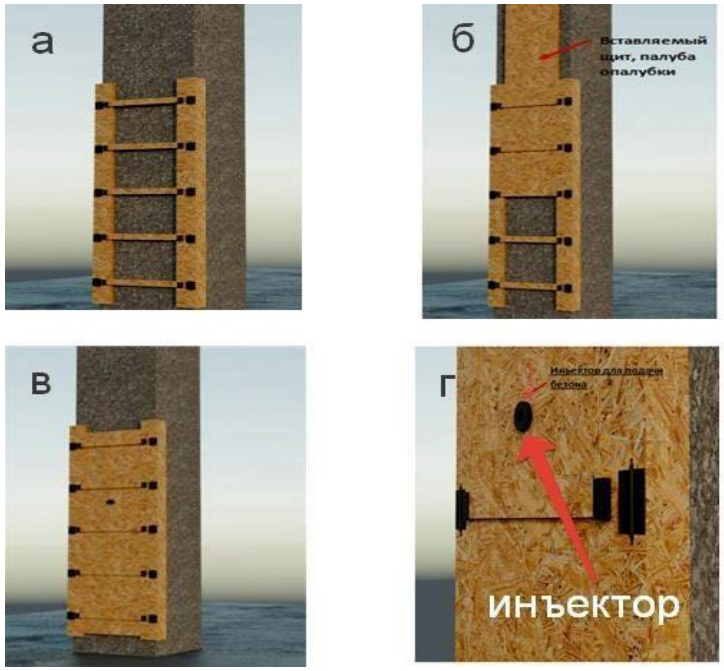


Рис. 2. Фрагменты монтажа универсальной опалубочной системы при усилении железобетонных колонн [15]

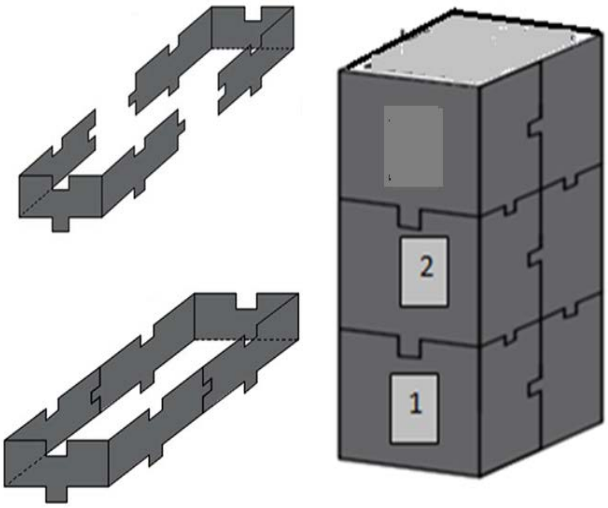


Рис. 3. Фрагменты монтажа опалубки-облицовки [16]

В данной работе авторами предлагается два вида сборно-разборных опалубочных систем из композитных материалов.

Каркас приведенной на рис. 4 опалубки изготавливается из уголков высокопрочного пластика *1* с выпусками *2*, на которых предусмотрены отверстия для сборки хомутов *4*, которые являются креплениями каркаса. Палуба (щит опалубки) *3* выполнена из пористой искусственной древесины (ПИД-IV). Закрепляются хомуты (крепления) замками-клиньями *5*.

Рис. 4. Конструкция опалубочной системы: *1* — уголок из высокопрочного пластика, составляющий основу каркаса; *2* — выпуски на уголках; *3* — палуба из искусственной пористой древесины; *4* — хомуты; *5* — замки-клинья

В пакетированном виде опалубочная система состоит из четырех уголков высокопрочного пластика, к внутренним сторонам которых в заводских условиях закреплено по одному модулю (доски) из искусственной пористой древесины.

На строительной площадке опалубочная система собирается после установки арматурного каркаса в проектное положение и нанизывании на арматурные стержни фиксаторов, обеспечивающих защитный слой бетоном. Опалубку устанавливают частями. Каждая часть представляет Г-образную форму, т. е. представленные на рис. 4 составные части палубы в необходимых случаях увеличиваются за счет дополнительных шпунтованных модулей (досок) из ПИД-IV таким образом, чтобы размеры полностью собранных палуб соответствовали размерам сечения конструктивного элемента здания.

Например, если сечение конструктивного элемента (допустим, колонны) составляет 400 × 500 мм, то необходим только дополнительный элемент из ПИД-IV шириной 100 мм, так как при соединении двух элементов каркаса со спаренными досками из ПИД-IV получается 400 мм.

Некоторые процессы технологической последовательности устройства предлагаемой опалубочной системы наглядно представлены на рис. 5.

Представленную опалубочную систему из высокопрочного пластикового уголка и модулей из ПИД-IV эффективно применять при возведении столбчатых фундаментов, при этом не исключается возможность использования для устройства колонн, балок, ригелей, усиления отдельных конструктивных элементов при реконструкции зданий и сооружений.

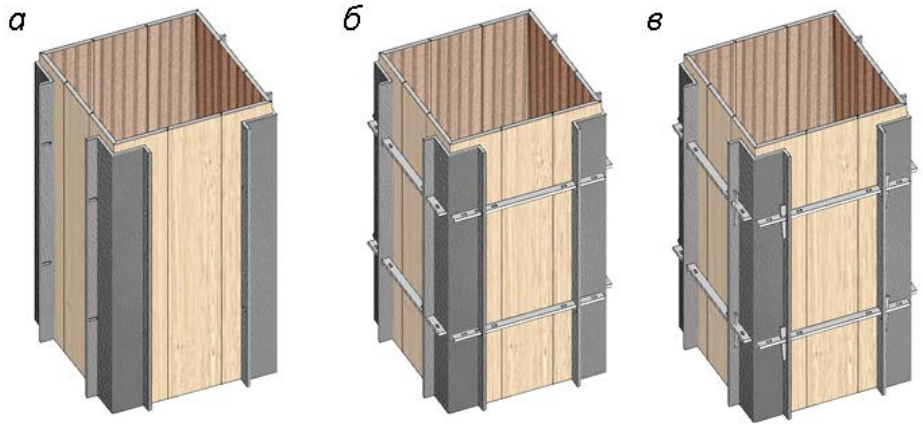


Рис. 5. Технологическая последовательность устройства опалубки: *а* — сборка каркаса и дополнительных щитов палубы; *б* — вставка хомутов; *в* — закрепление клиновыми замками

Следующая опалубочная система (рис. 6) разработана исключительно для устройства колонн и полностью изготавливается из высокопрочного пластика.

Рис. 6. Составные элементы опалубочной системы из высокопрочного пластика

Сборочные элементы представляют собой четыре объемные Г-образные формы (размерами 150 × 150, 150 × 200, 150 × 250, 200 × 250, 250 × 250, 250 × 300 мм), после необходимой комбинации которых получается квадратная или прямоугольная форма нужного размера. Как видно из рис. 6, Г-образные составляющие элементы новой опалубки имеют такую же конструкцию, как приведенные на рис. 4 уголки из высокопрочного пластика *1*.

Соединяются они между собой существующими на строительном рынке клиновыми замками, как и опалубка, представленная на рис. 4, хотя могут применяться и другие замковые соединения.

С помощью предлагаемых опалубочных систем можно возвести различные конструктивные элементы (фундаменты, колонны, балки, ригели) строительных систем.

Универсальность опалубочных систем заключается в том, что их можно использовать как при новом строительстве, так и при реконструкции, капитальном ремонте зданий и сооружений.

Для выявления технологичности вновь разработанных опалубочных систем были изготовлены макеты в натуральную величину и определены трудозатраты на устройство и разборку. Для сравнения с другими опалубочными системами на рис. 7 приведены трудозатраты на устройство и разборку ранее разработанных опалубочных систем.

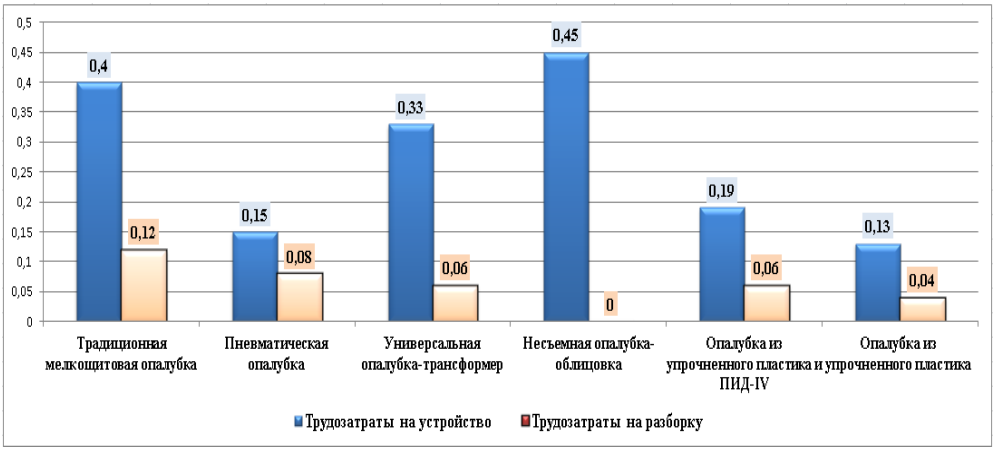


Рис. 7. Сравнение разработанных опалубочных систем по трудозатратам на устройство и разборку, чел.-ч/м^2

В заключение отметим, что опыт мировой практики строительства высотных и уникальных зданий, а также анализ научных публикаций по соответствующей теме показывают, что на современном этапе развития строительного производства монолитное строительство занимает ведущее место, и при этом высокими темпами развиваются технологии производства работ. Связано это с применением новых материалов взамен традиционных. Современные композитные материалы отличаются легковесностью и долговечностью. Они не только эффективны в переработке в процессе производства работ, но и позволяют:

проектировать строительные системы с нестандартными объемно-планировочными решениями;

создавать наружные энергоэффективные вертикальные покрытия;

за счет легковесности максимально механизировать технологические процессы;

применять новые высокотехнологичные формообразующие системы, механизмы меньшей грузоподъемности;

увеличивать продолжительность эксплуатации зданий и сооружений.

Так как многие композитные материалы — конструкционные, на смену инвентарным многооборачиваемым опалубочным системам придут несъемные формообразующие системы, которые станут частью конструктивных элементов строительных систем, что приведет к разработке инновационных роботизированных технологий производства работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу об опалубочных системах из композитных материалов / С. Г. Абрамян, А. О. Акопян, М. Р. Степанян, Д. М. Сироткин // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6976.

2. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы / С. Г. Абрамян, А. М. Ахмедов, В. С. Халилов, Д. А. Уманцев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2014. Вып. 36(55). С. 231—240.

3. Development of an Advanced Composite System Form for Constructability Improvement through a Design for Six Sigma Process / D. M. Lee, T. Kim, D. Lee, H. Lim, H. Cho, K. I. Kang //

Journal of Civil Engineering and Management. 2020. Vol. 26. Iss. 4. Pp. 364—379. DOI: 10.3846/jcem.2020.12188.

4. Experimental and numerical investigation of timber formwork beam under different loading type / T. U. Donmez, A. Turer, O. Anil, R. T. Erdem // Mechanics Based Design of Structures and Machines. 2020. DOI: 10.1080/15397734.2020.1749071.

5. *Имомназаров Т. С., Костюкова К. А., Харисова Г. А*. Применение композитной опалубки в строительстве // Системные технологии. 2017. № 23. С. 21—24.

6. Self-compacting lightweight aggregate concrete for composite slabs / A. E. Bruedern, V. Mechtcherine, W. Kurz, F. Jurisch // International Conference on Advanced Concrete Materials (ACM). Stellenbosch, South Africa, 2010. Pp. 97—103.

7. Computational simulation of eccentrically loaded reinforced concrete walls formed with modular thin-walled permanent formwork system / K. Kildashti, B. Samali, A. Malik, M. M. Alamdari // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 36. Article Number: 102131. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.102131.

8. Bending Capacity of Biaxial-Hollow RC Slab with Asymmetric Steel Beams / C. Gong, Z. X. Hou, G. Z. Cheng, G. Wang, Y. F. Chen // Advanced Steel Construction. 2020. Vol. 16. Iss. 4. Pp. 321—327. DOI: 10.18057/IJASC.2020.16.4.4.

9. *Ткаченко А. Н., Попова И. В.* Обоснование технологической возможности применения несъемной опалубки, выполненной из органического материала // Строительство и недвижимость. 2020. № 2(6). С. 139—143.

10. Mechanical, Durability and Environmental Aspects of Magnesium Oxychloride Cement Boards Incorporating Waste Wood / P. P. He, M. U. Hossain, C. S. Poon, D. C. W. Tsang // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 207. Pp. 391—399. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.015.

11. Structural Response of Cement-Bonded Wood Composite Panels as Permanent Formwork / M. Li, M. Khelifa, A. Khennane, M. El Ganaoui // Composite Structures. 2019. Vol. 209. Pp. 13—22. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.10.079.

12. *Toutanji H., Saafi M.* Stress-strain behavior of concrete columns confined with hybrid composite materials // Materials and Structures. 2002. Vol. 35. Iss. 250. Pp. 338—347. DOI: 10.1007/BF02483153.

13. *Абрамян С. Г., Оганесян О. В.* Устойчивое развитие и экологическая безопасность строительства зданий и сооружений: техногенные факторы, воздействующие на атмосферу. Ч. I // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2015. Вып. 42(61). С. 202—210.

14. *Abramyan S. G., Polyakov V. G., Oganesyan O. V.* Pneumatic formwork used in strengthening of structural elements during reconstruction of buildings and structures // MATEC Web of Conferences. Vol. 129: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). 2017. 4 p. URL: matecconferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_05001.pdf.

15. *Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganesyan O. V.* Multi-Purpose Forming System for Strengthening Structural Elements of Buildings and Works // Materials and Technologies in Construction and Architecture. International Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice of Industry Development (CATPID-2018). 2018. Vol. 931. Pp. 405—410. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.4052018.

16. *Abramyan S. G., Oganesyan O. V.* Development of lining formwork for column expansion during reconstruction of building and structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 962: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) (6—12 September 2020, Sochi, Russia). 2020. No. 2. 7 p. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022087/pdf.

© Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Акопян Г. О., Степанян М. Р., 2021

Поступила в редакцию
в марте 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Акопян Г. О., Степанян М. Р. Разработка опалубочных систем из композитных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 148—155.

Об авторах:

Абрамян Сусанна Грантовна — канд. техн. наук, доц., проф. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; susannagrant@mail.ru

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, зам. директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ResearcherID: R-4974-2016; ORCID: 0000-0003-1477-2709; info@vgasu.ru

Акопян Грачуи Овиковна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Степанян Мери Рустомовна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Susanna G. Abramyan, Oleg V. Burlachenko, Grachui O. Akopyan, Meri R. Stepanyan

Volgograd State Technical University

DEVELOPMENT OF FORMWORKING SYSTEMS FROM COMPOSITE MATERIALS

The article notes the significant role of monolithic construction, which occupies, along with modular, a leading position in the modern construction industry. It is emphasized that in connection with the development of technologies of monolithic construction, there is a need to develop new forming systems that differ from the existing ones with ease, which, in turn, leads to a reduction in costs, and also determines the manufacturability of formwork systems. It is demonstrated that when developing new or choosing existing formwork systems, it is necessary to pay attention to their characteristics such as durability, strength, relative cost, water resistance, fire safety and environmental friendliness. Based on the analysis of a number of scientific publications, it was revealed from which composite materials the formwork systems are currently mainly made. In addition, there is a great interest among specialists and researchers in the development and application of fixed forms in the construction of high-rise buildings.

K e y w o r d s: form-building structures, collapsible and non-removable, lightness, manufacturability, design features, characteristics.

For citation:

Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Akopyan G. O., Stepanyan M. R. [Development of formworking systems from 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], 2021, iss. 4, pp. 148—155.

About authors:

Susanna G. Abramyan — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; susannagrant@mail.ru

Oleg V. Burlachenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ResearcherID: R-4974-2016; ORCID: 0000-0003-1477-2709; info@vgasu.ru

Grachui O. Akopyan — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Meri R. Stepanyan — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 622.242.6

А. М. Буров, М. В. Иванов, Е. Ю. Козловцева, Э. М. Шайхутдинова

Волгоградский государственный технический университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОРШНЯ БУРОВОГО НАСОСА

В результате исследований подтверждена принципиальная возможность применения полиуретановых материалов взамен резиновых в качестве манжетного уплотнения поршня бурового насоса. Полученные результаты могут представлять научный и практический интерес при разработке новых конструкций поршней буровых насосов с повышенной износостойкостью.

К л ю ч е в ы е с л о в а: поршень бурового насоса, отказ, износ манжетного уплотнения, резина, полиуретан, работоспособность.

Гидравлическая часть современных конструкций отечественных и зарубежных буровых поршневых насосов включает в свой состав гидравлические коробки, клапанные пары, цилиндропоршневые группы, уплотнения штоков поршней и крышек клапанных пар, цилиндровые втулки и крышки клапанных пар цилиндровой группы. Несмотря на совершенствование конструкции гидравлической части буровых поршневых насосов и технологии их изготовления, показатели ее надежности не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям, в первую очередь по наработке на отказ [1—3]. В табл. 1 приведены результаты статистической обработки информации о наработке деталей гидравлической части буровых насосов, полученной в ранее выполненных работах по исследованию буровых поршневых насосов.

Т а б л и ц а 1

Результаты статистической обработки информации о наработке деталей буровых насосов

Деталь	Закон распределения	Статистический параметр распределения	
		Наработка до отказа, ч	Коэффициент вариации
Поршень	Экспоненциальный	98	0,83
Цилиндровые втулки	Вейбулла	204	0,52
Штоки	Логарифмически-нормальный	106	0,48
Клапаны	Экспоненциальный	73	0,77

Значения коэффициента вариации экспоненциального закона распределения наработки на отказ поршней и клапанов буровых насосов, равные 0,83 и 0,77 соответственно, свидетельствуют о высокой вероятности внезапного выхода из строя этих деталей.

Широкий диапазон изменений значений среднеквадратичного отклонения наработки на отказ поршней и клапанов буровых насосов также свидетельствует о том, что долговечность и износостойкость этих деталей зависят

от влияния большого числа различных факторов. Аналогичные выводы были получены в результате исследований и других авторов [4—6].

Например, в работе [7] отмечено почти двукратное сокращение наработки на отказ деталей гидравлической части буровых насосов при бурении скважин в интервале 4000…5000 м по сравнению с бурением скважины в интервале 1000…2000 м.

Следствием этого является соответствующее увеличение количества расходуемых деталей и узлов, в том числе клапанных пар, используемых для восстановления работоспособности буровых поршневых насосов (рис. 1). Как видно из рис. 1, клапанная пара бурового поршневого насоса является самым его быстро изнашиваемым узлом. По приведенным данным можно заметить, что клапанные пары изнашиваются быстрее, чем остальные детали гидравлической части бурового поршневого насоса [8, 9].

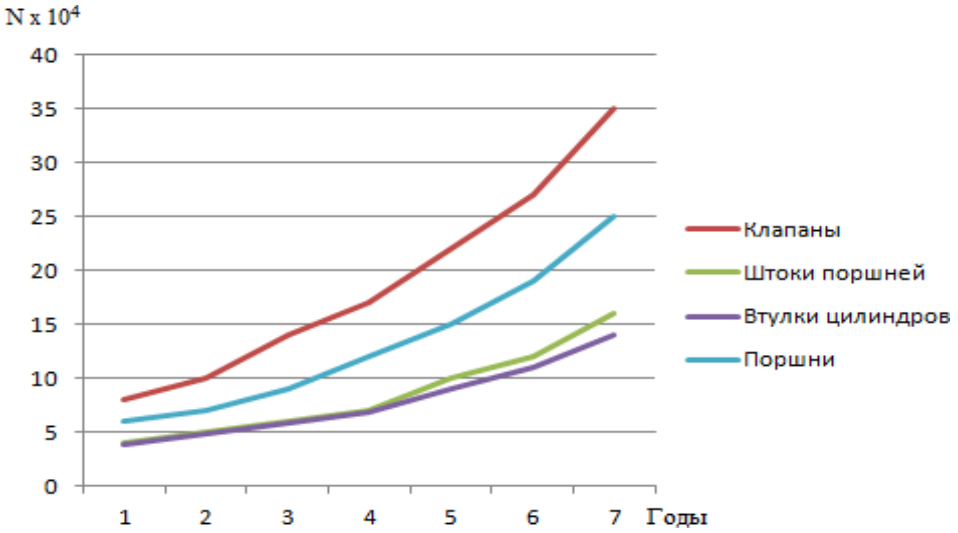


Рис. 1. Соотношения количества расходуемых деталей по их видам

Из изложенного следует, что надежность деталей гидравлической части бурового поршневого насоса в значительной степени зависит от износостойкости взаимно контактирующих поверхностей и уплотнительных элементов поршня и клапанной пары. Например, средняя наработка на отказ клапанов буровых поршневых насосов, нагнетающих промывочную жидкость под давлением 16…18 МПа, не превышает 100 ч [7].

Замена изношенных узлов и деталей бурового поршневого насоса в процессе бурения скважины требует значительных материальных и трудовых затрат, применения тяжелого ручного труда в весьма неблагоприятных климатических условиях, а также временного вывода бурового насоса из эксплуатации [7].

В процессе бурения скважины клапаны бурового поршневого насоса, как правило, заменяются на новые чаще по сравнению с другими деталями гидравлической части насоса [10]. Изучение характера повреждений отработанных клапанов буровых поршневых насосов, проведенное в процессе ремонта последних на базах производственного обслуживания ряда буровых компаний,

показало, что причинами являются ведущие виды износа, а также различные повреждения их рабочих поверхностей.

Как отмечается, в 33 % случаев поломки буровых насосов происходят из-за износа пары «цилиндровая втулка — манжета поршня». Манжеты изготовляются из резины с кордом; также вместо манжет применяются пластмассовые кольца. Защита и увеличение срока эксплуатации этой пары являются важными инженерными задачами [11—13].

В технической литературе очень мало сведений о видах повреждаемости непосредственно поршня насоса. Поэтому, вероятно, имеет смысл сначала рассмотреть процессы повреждаемости, общие для всех пар трения, а затем — имеющиеся данные о поршне насоса.

Анализ условий работы бурового насоса, параметров перекачиваемого раствора, материалов и конструкции гидравлической части — пары «поршень — втулка цилиндрическая», взаимодействующих с буровым раствором, позволяет сформулировать следующие условия работы поршня.

Силы трения, образующиеся в процессе набора раствора между поршнем и втулкой, выталкивают втулку в сторону движения поршня. Во время этого процесса внутри цилиндра возрастает давление жидкости, которое выталкивает втулку в обратном направлении с силой, равной произведению этого давления на площадь сечения тела втулки. При этом резина поршневой манжеты сильнее прижимается к внутренней поверхности втулки цилиндрической.

Поверхность внутреннего диаметра получает как постоянное, так и периодическое воздействие от перекачивания бурового раствора поршнем при его возвратно-поступательном движении.

В процессе перекачивания твердые частицы бурового раствора (с твердостью свыше 38 HRC) под давлением до 35 МПа соприкасаются с внутренним диаметром втулки цилиндрической. Возможны следующие виды контакта:

1) контакт происходит хаотичным соударением при свободном витании твердых частиц, при заполнении и опорожнении внутреннего объема втулки буровым раствором;

2) контакт происходит в виде скольжения твердых частиц (размер твердых частиц — от 5×10^{-6} мм (размер большой молекулы) до 0,1 мм) в результате попадания их между манжетой поршня и внутренней поверхностью втулки цилиндровой.

Следует отметить, что в связи с наличием в растворе твердых абразивных частиц размерами от 0,000005 до 0,1 мм однозначно возможен их прорыв в щель между манжетой поршня и зеркалом втулки без износа их рабочих поверхностей. Шероховатость внутренней зеркальной поверхности новой втулки Ra — от 0,25 до 0,4 мкм (0,00025…0,0004 мм).

В настоящее время не существует единой классификации видов изнашивания и повреждаемости, так как до сих пор не выявлены причины, по которым надлежит классифицировать изнашивание.

В классификации изнашивания по внешним признакам различают изнашивание при трении скольжения со смазочным материалом и без него, а также со слоем абразивного порошка. Существует классификация, в которой учитывают характер взаимодействия поверхностей при трении и характер протекающих на трущихся поверхностях процессов. В уточненном виде она включает: адгезию или истирание поверхностей, абразивное воздействие или

резание, коррозию, усталость, а также другие редко встречающиеся виды изнашивания.

И. В. Крагельским разработана классификация видов изнашивания, построенная на рассмотрении трех последовательных этапов: взаимодействие поверхностей, происходящее при скольжении поверхностей, их изменение, затем разрушение [14].

Наиболее удачными являются классификации, предложенные Б. И. Костецким [15]. В соответствии со взглядами Б. И. Костецкого все многообразие процессов поверхностного разрушения при внешнем трении разделено на две резко выраженные области нормального и патологического процессов: изнашивание и повреждаемость.

Основные виды износа, которым может подвергаться поверхность цилиндровой втулки при работе бурового насоса:

1) усталостный;
2) абразивный;
3) коррозионный;
4) эрозионный;
5) механический.

Что касается износа поршней бурового насоса, можно сделать заключение, что разрушение поршней начинается с образования сети мелких рисок и царапин, истирания внутренней поверхности поршня.

Было установлено, что около 80 % отказов буровых насосов вызвано износом поршня. Износ поршня является основной причиной отказа работы бурового насоса. Повышение износостойкости пары трения «поршень — цилиндр» стал ключевым фактором для улучшения срока службы поршня [16—18].

Особый интерес представляет применение литьевых полиуретанов в производстве уплотнительной техники для нефтегазодобывающей отрасли. Полиуретан с успехом заменяет резину различных марок (а в некоторых случаях и металлы) благодаря таким свойствам, как износостойкость, прочность, пластичность.

Полиуретаны представляют собой гетероцепные полимеры, макромолекула которых содержит незамещенную и/или замещенную уретановую группу –N(R)– C(O)O–, где R = H, алкилы, арил или ацил. В макромолекулах полиуретанов также могут содержаться простые и сложноэфирные функциональные группы, мочевинная, амидная группы и некоторые другие функциональные группы, определяющие комплекс свойств этих полимеров. Полиуретаны относятся к синтетическим эластомерам и нашли широкое применение в промышленности благодаря большому диапазону прочностных характеристик. Используются в качестве заменителей резины при производстве изделий, работающих в агрессивных средах, в условиях больших знакопеременных нагрузок и температур. Диапазон рабочих температур — от −60 до +80 °C.

Наиболее распространенным типом полиуретанов в настоящее время являются литьевые полиуретаны типов СКУПФЛ-100, НИЦПУ-5, имеющие по сравнению с другими видам более высокие физико-механические характеристики и твердость по Шору А 85…90 единиц. Литьевые полиуретаны чаще применяют для изготовления деталей внутризаводского транспорта, различных валов, шестерен, вибростойких деталей, отбойных молотков и других

изделий для машиностроения, горнодобывающей, авиационной, автомобильной, нефтегазодобывающей, строительной, полиграфической и других отраслей промышленности.

В соответствии с нормами межремонтных периодов на поршневые буровые насосы с маслостойким резиновым уплотнением, работающим до 200 °С, текущий ремонт поршня проводится после 2300…2900 ч работы насоса и включает проверку плотности посадки поршня на штоке, шплинтовки его гайки, а также определение износа поршня и состояния канавок под кольца. Переход на новую конструкцию поршня и полиуретановые манжетные уплотнители позволит увеличить межремонтный период для текущего ремонта до ≈ 6000 ч.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики полиуретана и резины.

Таблица 2

Сравнительные характеристики резины и полиуретана

Наименование показателей	Значение для резины	Значение для полиуретана	Примечание
Условная прочность при растяжении, МПа	12,7	35	Полиуретан превышает прочность резины в 2,25 раза
Относительное удлинение при разрыве, %	300	500…600	Полиуретан эластичней резины в 2 раза
Твердость, единица Шора А	40…50	55…97	Полиуретан может быть изготовлен различной твердости
Истираемость, м³/т, ДЖ	45…80	11,3…26,6	Условная износостойкость полиуретана в 3 раза выше

Многие исследователи недостаточную долговечность поршней из резины объясняют термодеструкцией и выкрашиванием резины за счет повышения контактных давлений, скоростей движения и высокой температуры трения, несмотря на принудительное, но недостаточно эффективное охлаждение трущихся пар [19—20].

Более высокая долговечность современных поршней объясняется применением полиуретановых эластомеров, эффективным охлаждением и отказом от традиционной, но устаревшей маслобензостойкой резины. На наш взгляд, наиболее перспективным с учетом научных достижений в области нанотехнологий является поиск и внедрение износостойких материалов для изготовления рабочих элементов буровых насосов.

В связи с тенденцией повышения давления P и до некоторой степени скорости V и температуры T применение обычной резины для изготовления уплотнений поршней неперспективно несмотря на оригинальные конструктивные решения изобретателей. Кроме того, коэффициент трения резины по металлу имеет высокое значение (> 0,25 при ограниченной смазке).

На рис. 2 приведена модель полиуретанового поршня и его схематическое исполнение.

Из схемы видно, что частицы довольно большие по размерам, это ведет к интенсивному изнашиванию резиновых манжет бурового насоса и быстрому выходу из строя.

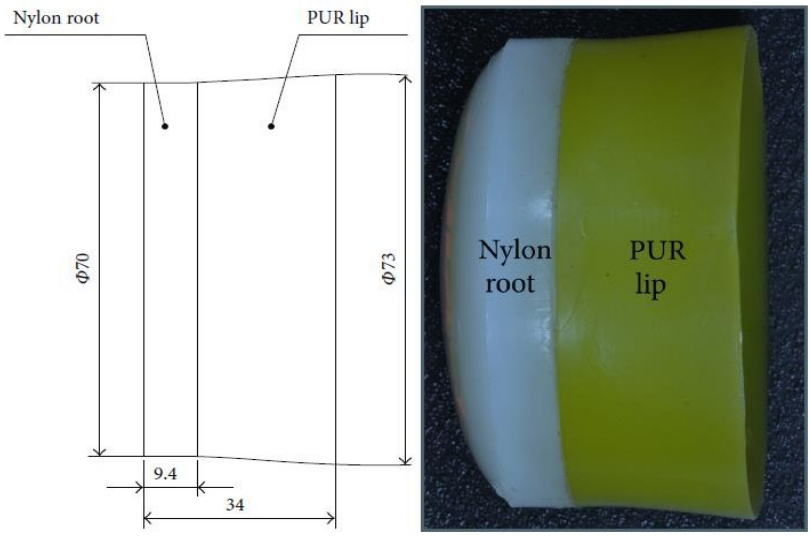


Рис. 2. Модель полиуретанового поршня

На рис. 3 приведена схема взаимодействия твердых частиц с поверхностью цилиндра [11].

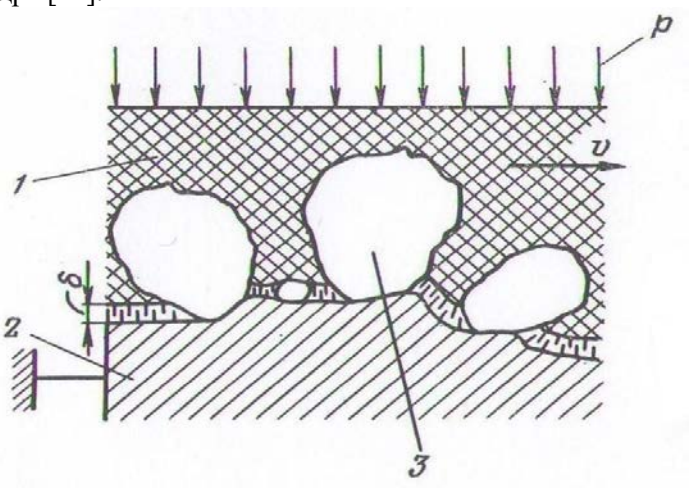


Рис. 3. Схема взаимодействия твердых частиц с поверхностью поршня: *1* — резиновое поршневое кольцо; *2* — стенка цилиндра; *3* — зерно кварца; δ — толщина слоя граничной смазки; *P* — давление на резину; *V* — направление скорости носителя твердых частиц

В случае использования изделия из исследуемого материала в качестве демпфирующего устройства оптимальным полагается проведение динамического механического анализа для определения диссипативных свойств материала и выявление зависимости именно вязкостных свойств от температуры. Для полимерных материалов, и в частности для полиуретана, данная зависимость представляется достаточно важной.

Таким образом, для снижения сил трения в усовершенствованной конструкции предлагается замена резинового манжетного уплотнителя на полиуретановый СКУПФЛ-100 с низким коэффициентом трения $\mu = 0{,}2$ и

повышенной истираемостью, что позволит за счет снижения силы трения повысить эксплуатационную надежность поршня и увеличить межремонтный период для текущего ремонта в 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов М. В., Буров А. М.* Исследование эффективности работы полиуретанового поршня буровых насосов // Инновационные технологии в обучении и производстве : материалы XIV Всероссийской заочной науч.-практич. конф., г. Камышин, 15 ноября 2019 г. : в 3 т. Волгоград, 2019. Т. 1. С. 15—16.

2. Влияние конструкции буровых насосов на эффективность бурения нефтегазовых скважин / А. М. Буров, М. В. Иванов, А. Р. Базбетов, А. А. Гайдуков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2020. Вып. 1(78). С. 216—223.

3. *Душко О. В., Воронкова Г. В., Рекунов С. С.* Исследование напряженно-деформированного состояния уплотнителя поршня и системы «уплотнитель — цилиндр» // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4 (58). Ч. 4. С. 43—47.

4. *Грей Ф.* Добыча нефти / Пер. с англ. М. : Олимп-Бизнес, 2001. 416 с.

5. *Mellor B. G.* Surface Coatings for Protection Against Wear. Woodhead Publishing, 2006. 448 p.

6. Пути повышения долговечности манжетного уплотнения поршня бурового насоса при разработке нефтяных месторождений / А. М. Буров, М. В. Иванов, А. А. Гайдуков, Т. Н. Гуляева // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2020. Вып. 4(81). С. 26—273.

7. Нефтегазопромысловое оборудование: учебник для вузов / Под общ. ред. В. Н. Ивановского. М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2006. 720 с.

8. *Мищенко И. Т.* Скважинная добыча нефти: учебное пособие для вузов. М. : Нефть и газ, 2003. 816 с.

9. Справочник по добыче нефти / Под ред. К. Р. Уразакова. М. : Недра-Бизнесцентр, 2000. 374 с.

10. *Анисимов Л. А., Перфилов В. А.* Development of Technology for Disposal of Drilling Wastes Offshore Oil and Gas Facilities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 272: International science and technology conference “Earth science” (Russky Island, Russian Federation, 4—6 March, 2019). 2019. 6 p. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/2/022040/pdf.

11. П.м. 188588 Российская Федерация. МПК F16J15/16. Поршень гидравлического насоса / А. М. Буров, О. В. Душко, В. А. Перфилов, В. В. Ярошик. ВолГТУ, 2019.

12. *Рахмилевич З. З.* Насосы в химической промышленности : справ. изд. М. : Химия, 1990. 240 с.

13. *Myshkin N., Goryacheva I.* Tribology: Trends in the half-century development // Journal of Friction and Wear. 2016. Vol. 37. Pp. 513—516.

14. *Крагельский И. В.* Трение и износ. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1968. 480 с.

15. *Костецкий Б.И., Носовский И. Г., Караулов А. К.* Поверхностная прочность материалов при трении. Киев : Техника, 1976.

16. *Бурлаченко О. В., Иванов М. В.* Increase of Durability Transmission Mechanism Based on the Laser Processing Improvement // Procedia Engineering. 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / Ed. by A. A. Radionov. Elsevier publishing, 2016. Vol. 150. Pp. 464—467.

17. *Hendrawan Y. M., Simba K. R., Uchiyama N.* Iterative learning based trajectory generation for machine tool feed drive systems // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2018. Vol. 51. Pp. 230—237.

18. Effect of scanning speed on the microstructure and mechanical behavior of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting / J. Liu, Y. Song, C. Chen, X. Wang, H. Li, C. Zhou, J. Wang, K. Guo, J. Sun // Materials and Design. 2020. Vol. 186. DOI: 10.1016/j.matdes.2019.108355.

19. *Roth J. R.* Industrial Plasma Engineering // Applications to nonthermal plasma processing. 2016. Vol. 2. 645 p.

20. *Szeri A. Z.* Tribology: friction, lubrication and wear // Hemisphere. 2016. P. 64.

© Буров А. М., Иванов М. В., Козловцева Е. Ю., Шайхутдинова Э. М., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Буров А. М., Иванов М. В., Козловцева Е. Ю., Шайхутдинова Э. М. Совершенствование конструкции поршня бурового насоса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 156—163.

Об авторах:

Буров Анатолий Михайлович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; 20burov15@mail.ru

Иванов Максим Витальевич — старший преподаватель каф. морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; clevermax18@mail.ru

Козловцева Елена Юрьевна — старший преподаватель каф. морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; elenakozlovtseva@gmail.com

Шайхутдинова Элина Марселевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; shaykhutdinova_elina@mail.ru

Anatoliy M. Burov, Maxim V. Ivanov, Elena Yu. Kozlovtseva, Elina M. Shaikhutdinova

Volgograd State Technical University

IMPROVEMENT THE DESIGN OF THE DRILLING PUMP PISTON

As a result of the research, the principal possibility of using nano-materials was confirmed, the replacement of rubber cuffs with polyurethane pistons. The results obtained may be of scientific and practical interest in the development of new designs of mud pump pistons.

K e y w o r d s: piston drill pump, rejection, cuff seal wear, rubber, polyurethane, operability.

For citation:

Burov A. M., Ivanov M. V., Kozlovtseva E. Yu., Shaikhutdinova E. M. [Improvement the design of the drilling pump piston]. *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], 2021, iss. 4, pp. 156—163.

About authors:

Anatoliy M. Burov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; 20burov15@mail.ru

Maxim V. Ivanov — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; clevermax18@mail.ru

Elena Yu. Kozlovtseva — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; elenakozlovtseva@gmail.com

Elina M. Shaikhutdinova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; shaykhutdinova_elina@mail.ru

УДК 620.191.33:666.974.2

Р. А. Бурханова, Н. Ю. Евстафьева, Т. К. Акчурин, И. В. Стефаненко

Волгоградский государственный технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

В статье рассмотрена наполненная двухкомпонентная полимерная система холодного отверждения (НДПС). В качестве модификатора вторичного эпоксидного порошка взята фенолформальдегидная смола новолачного типа. Предпочтение данному модификатору отдано ввиду того, что материал является вторичным сырьем, выпускается промышленностью и не требует дополнительной доработки перед использованием. Реакция эпоксидной смолы с новолачной фенолформальдегидной смолой в составе НДПС приводит к образованию гомогенной самоотверждающейся системы, содержащей продукт сополигомеризации. Исходные компоненты взаимодействуют с образованием топологически сложной пространственной сетки. Исследования структуры поверхности проводились методами оптической микроскопии (МБС-9, 10). Полученные результаты на данном этапе исследований позволяют говорить о преимуществах полимерной композиции. Разработка нового состава НДПС на основе отходов промышленных предприятий региона позволит расширить сырьевую базу исходных компонентов для полимерной гидроизоляции строительного назначения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: наполненная двухкомпонентная полимерная система (НДПС), модифицированный бетон, эпоксидная смола, фенолформальдегидная смола, структура, техногенные отходы.

Структурные особенности эпоксидных полимеров обусловили их широкое использование в различных отраслях промышленности и строительстве. К таким особенностям относятся: возможность получения эпоксидного мономера в жидком и твердом состоянии, при отверждении отсутствуют летучие вещества, усадка полимера при эксплуатации незначительна, в отвержденном состоянии полимер нетоксичен, адгезионная и когезионная прочность характеризуются высокими значениями, высокая химическая стойкость.

Постепенно усложняющийся набор структурных элементов (подсистем) организует структуру эпоксидных полимеров, которые подразделяются на ряд уровней: молекулярный, топологический, надмолекулярный и микроуровень (коллоидно-дисперсный уровень организации системы) [1—3]. Молекулярная структура (повторяющийся фрагмент полимерной сетки) эпоксидных полимеров определяется химическим строением олигомеров и отвердителей, используемых для получения полимера. Основные характеристики, которые определяют влияние молекулярной структуры на более высокие уровни структурной организации и свойства эпоксидных полимеров, — жесткость и полярность внутренних и боковых цепей в повторяющихся фрагментах.

Связность и разветвленность элементов молекулярной структуры характеризует топологический уровень структурной организации, без учета конкретного химического строения элементов. Достаточно полно описывает структуру пространственной сетки статистическая модель топологической структуры сетчатых полимеров, в основу которой положено представление о сетке как о совокупности случайно связанных циклов с определенной

частотой повторения. Это влияет на рост температуры стеклования, прочности, химической и термической стойкости, но при этом увеличивается хрупкость полимера [4, 5] при уменьшении расстояния между узлами сетки и увеличении плотности упаковки сегментов цепи.

При надмолекулярной структуре размеры структурных образований в полимерах значительно превосходят размеры молекул, что определяет характер межмолекулярного взаимодействия структурных фрагментов и степень упорядоченности в их взаимном расположении, что, в свою очередь, отражает характер упаковки и уровень физических взаимодействий в системе. Образование глобулярной надмолекулярной структуры характерно для эпоксидных полимеров. Матрица, окружающая глобулы, состоит из менее плотного вещества, чем сами глобулы. Состав композиции и условия отверждения обусловливают размер глобулярных частиц (порядка 20…90 нм). С повышением температуры отверждения размер глобул уменьшается. При этом уменьшается плотность и повышается электрическая прочность полимера [6, 7].

Микроуровень (коллоидно-дисперсный уровень) отражает наличие фаз, микрофаз, промежуточных слоев, их состав, дисперсность, связность (фазовую организацию системы), существование поверхностей раздела и характер их взаимодействия (наличие полостей, микротрещин и микропор).

Комплекс эксплуатационных свойств эпоксидного полимера обусловливает наличие взаимосвязи уровней структурной организации полимерной матрицы. Приоритет и основная роль в формировании структуры матрицы отводится химическому и топологическому строению полимера.

Эпоксидные порошкообразные материалы марок Basepox PE 50-7191, Porselac 2000 25-10-12 Gray, SCOTCHKOTE 226 N8G производства фирм BASF (Германия), Kawakami Point (Япония), 3M (США), JOTUN (Норвегия), BS COATINGS (Франция), AKZO NOBEL (Германия) используются в регионе на предприятиях машиностроительной отрасли и металлургии в качестве праймера или самостоятельного антикоррозионного покрытия металлических поверхностей. Порошок эпоксидного полимера скапливается в камере напыления и системе аспирации, через которую и происходит его удаление. Неизбежными технологическими потерями данного технологического процесса являются образовавшиеся на фильтрах вторичные эпоксидные материалы, которые не потеряли своих термореактивных свойств. Количество и качество эпоксидного порошка достаточно и удовлетворительно для его повторного использования в качестве пленкообразующего компонента полимерной композиции для гидроизоляции строительных изделий и конструкций.

Пленкообразующая способность вторичного порошка эпоксидной смолы — важный показатель, который определяет его пригодность для формирования композиции с целью защиты изделий от воздействия воды и агрессивной среды. Это свойство характеризуется при определенной температуре деформацией течения, которая приводит к коалесценции частиц под воздействием собственной силы тяжести. Одно из основных условий обеспечения пленкообразования — наличие контакта между частицами, подвижность цепей и звеньев макромолекул, обусловливающая их эффективную самодиффузию и аутогезию частиц. Пленкообразование полимера протекает в вязкотекучем состоянии за счет наличия растворителя или температурного режима [8, 9].

Являясь новолачной смолой, вторичный эпоксидный порошок представляет собой термореактивный пластический материал, обеспечивающий хорошую прочность и химическую стойкость композиции при высоких температурах. Данный вторичный продукт имеет большую ценность для составителей рецептур и производителей в качестве альтернативы эпоксидным смолам на основе бисфенола А. На рис. 1 представлено сочетание реакционной способности и универсальности эпоксидной смолы с термостойкостью, обеспечиваемой фенолформальдегидной основной цепью.

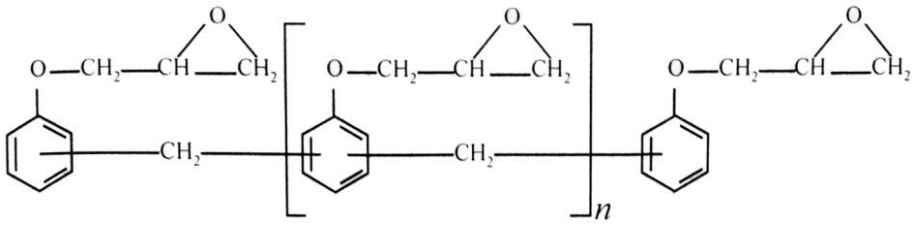


Рис. 1. Молекулярная структура эпоксидной смолы

Преимущества по сравнению со смолами типа «бисфенол А» плотно «сшитым» системам обеспечивает структура, которая имеет несколько эпоксидных функциональных групп и дополнительных реакционноспособных участков. Этим строением определяется ряд преимущественных свойств композиций на основе вторичного порошка эпоксидной смолы: улучшенная стойкость к кислотам, щелочам и растворителям, минимальная усадка при эксплуатации, совместимость с модификаторами различной природы, улучшенные высокотемпературные клеящие свойства. Модификация расширяет возможности использования эпоксидных полимерных отходов для гидроизоляционных композиций, как и синтез новых полимерных материалов, и в этом их большая притягательная сила и экономическая целесообразность для исследователей [1, 4, 7—10].

Для окрасочной гидроизоляции применяют составы на основе эпоксидных смол, представляющие их смеси с другими органическими материалами — модификаторами, например пековым дистиллятом, фурфуроловыми смолами, сланцевыми фенолами и др. В составы композиций входят растворители (ацетон, сольвент) и микронаполнители, такие как тонкомолотый песок, цемент, кислотоупорный цемент, маршалит, пылевидный кварц, железный сурик. Композиции состоят из двух компонентов — полимерного полуфабриката и отвердителя. Практически во всех сложных условиях эксплуатации эпоксидные модифицированные покрытия наиболее применимы, но дороговизна и дефицитность материалов ограничивают область их применения. Исследования влияния химической структуры на свойства эпоксидных полимеров показывают, что изменения всего комплекса свойств полимеров можно добиться изменением природы исходных олигомеров и отвердителей, а также их соотношением [11—14].

Условия отверждения в значительной степени определяют свойства эпоксидных полимеров. К повышению жесткости и температуры стеклования полимера, снижению температурного коэффициента расширения приводит рост числа узлов пространственной сетки при увеличении степени сшивания,

что усиливает ограничение свободного вращения сегментов цепи. Прочность полимеров растет при повышении плотности упаковки сегментов. Основными факторами, определяющими гибкость макромолекул, являются величина потенциального барьера вращения, молекулярный вес полимера, частота пространственной сетки и температура. Для эпоксидных полимеров, которые являются аморфными полимерами, характерно два вида релаксационного процесса. Первый обусловлен кооперативным движением сегментов макромолекул, который происходит с повышением температуры (выше температуры стеклования), когда полимер переходит из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Второй вид является низкотемпературным релаксационным переходом, связанным с колебательным и вращательным движением отдельных группировок основной и боковых цепей и реализуется при температурах ниже –30 °С. Релаксационные свойства полимера во многом связаны с различными эксплуатационными характеристиками полимеров.

Фенолформальдегидные смолы используются в производстве покровных лаков горячей сушки, обычно в сочетании с эпоксидными смолами, а также при производстве клеев, выдерживающих высокие температуры. В качестве модификатора вторичного эпоксидного порошка взята фенолформальдегидная смола новолачного типа (рис. 2), в своем составе содержащая отвердитель — уротропин (CH2)6N4 (рис. 3). Промышленный выпуск модификатора не требует его дополнительного исследования по составу и свойствам (СФП, ТУ 6-05751768-35-94). Допускается использование фенольной смолы с истекшим сроком годности (более 3 мес.), содержание уротропина не менее 8 %.

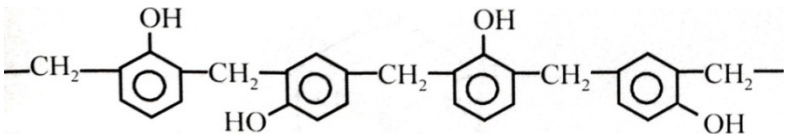


Рис. 2. Структура формальдегидных смол

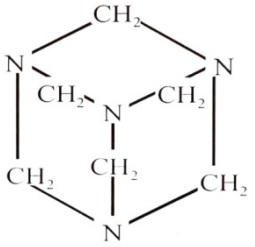


Рис. 3. Структура гексаметилентетрамина

Предпочтение данному модификатору было отдано ввиду того, что материал также является вторичным сырьем и выпускается промышленностью, не требует дополнительной доработки перед использованием. Фенолформальдегидная смола в сочетании с эпоксидной смолой придает последней в композиции дополнительную эластичность, используется в лакокрасочной промышленности в составах лаков и красок, компаундов. Еще одним преимуществом использования модификатора СФП является то, что в его состав уже входит отвердитель уротропин (гексаметилентетрамин) (рис. 4).

При полимеризации эпоксидных олигомеров происходит пространственная, трехмерная «сшивка» молекул. Для холодного отверждения эпоксидной смолы используют полиаминные отвердители, например полиэтиленполиамин (ПЭПА), триэтилентетрамин (ТЭТА). На рис. 5 представлена реакция взаимодействия эпоксидной смолы ЭД-20 с отвердителем ПЭПА.

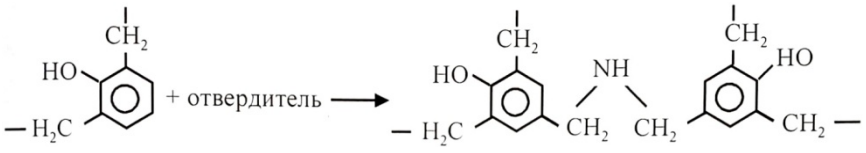


Рис. 4. Сшивание формальдегидных смол гексаметилентетрамином

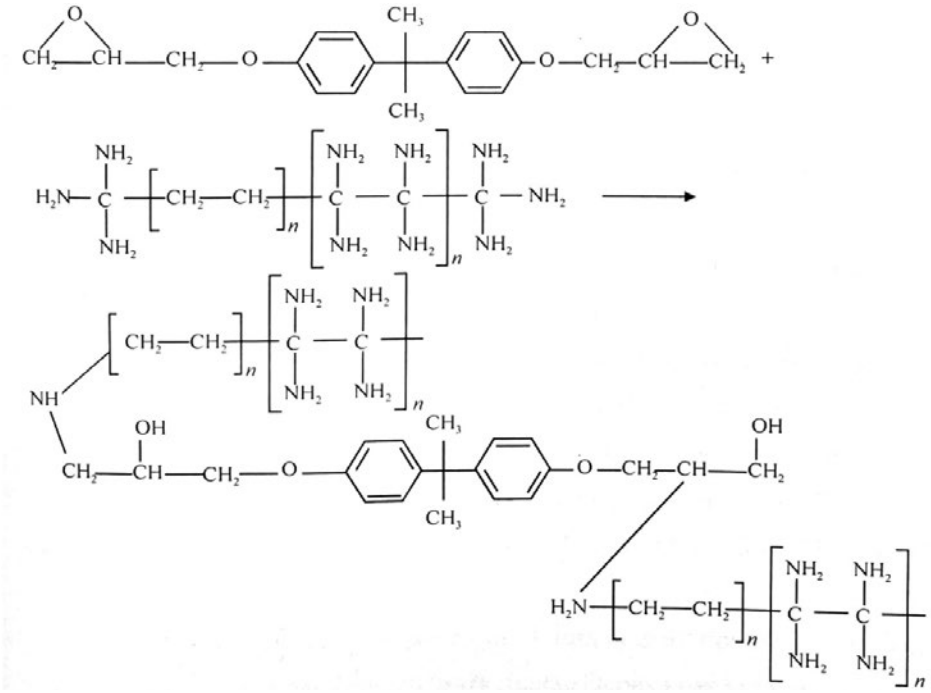


Рис. 5. Реакция отверждения эпоксидной смолы

При отверждении атомы водорода аминогруппы взаимодействуют с атомами кислорода глицидиловых групп эпоксидной смолы, получается термореактивная смола с большим количеством пространственных связей [15—18]. Именно трехмерная структура обеспечивает высокие физико-химические свойства отвержденной смолы.

После отверждения эти материалы не могут подвергаться вторичной термической переработке. Введение в эпоксидный порошок отвердителя (уротропина) в различных количествах позволяет регулировать сроки твердения и управлять процессом полимеризации композиции. Для повышения прочности и модуля упругости, снижения хрупкости вторичный порошок эпоксидной смолы модифицировали фенолформальдегидной смолой. Два компонента смешивались в сухом виде.

Определение правильного соотношения между твердой фазой и растворителем является достаточно сложной технологической задачей. Растворителем был выбран метилэтилкетон, который растворяет смолы с молекулярной массой 1000…4000 ед. Предметом исследования является полимерная композиция строительного назначения, представляющая собой наполненную двухкомпонентную полимерную систему холодного отверждения (НДПС).

Реакция эпоксидной смолы с новолачной фенолформальдегидной смолой в составе НДПС приводит к образованию гомогенной самоотверждающейся системы, содержащей продукт сополигомеризации (эпоксидно-новолачный блоксополимер), и исходные компоненты взаимодействуют с образованием топологически сложной пространственной сетки. Изменяя длительность сополигомеризации, получают составы, отверждение которых приводит к формированию реактопластов с широким спектром физических особенностей.

Отвердитель в композицию вводился в сочетании с фенолформальдегидной смолой в количестве 20 весовых частей на 100 весовых частей продукта вторичной эпоксидной смолы. Содержание уротропина составило 2 весовые части на 100 весовых частей смолы.

Большинство строительных материалов имеет пористую структуру и довольно хорошо пропускает воду. Для пропитки поверхности строительных материалов гидроизоляционным полимерным составом решающее значение имеют адгезионные характеристики НДПС и характер смачивания поверхности раствором композиции. Основными являются поверхностное натяжение жидкости относительно твердой поверхности, краевой угол смачивания, связанные между собой уравнением Дюпре — Юнга [2, 6, 8, 16, 19—23].

Под действием капиллярного давления может происходить самопроизвольная пропитка поверхности материала. Перекачка жидкости из широких капилляров в узкие означает, что пропитывающая жидкость в пористом материале будет перемещаться из крупных пор в мелкие и наоборот. Если условие самопроизвольной пропитки не выполняется, то полимерный раствор НДПС не проникнет вглубь пористого каркаса при любой длительности контакта фаз.

Метод счета капель считается самым простым способом измерения поверхностного натяжения с технической точки зрения. Лучшими показателями для расчета поверхностного натяжения НДПС обладает формула

$$m = F 2\pi R \frac{\sigma}{g},$$

где F — поправка, в данном исследовании равна 0,2482; m — масса капли раствора НДПС; R — внутренний радиус; σ — коэффициент поверхностного натяжения

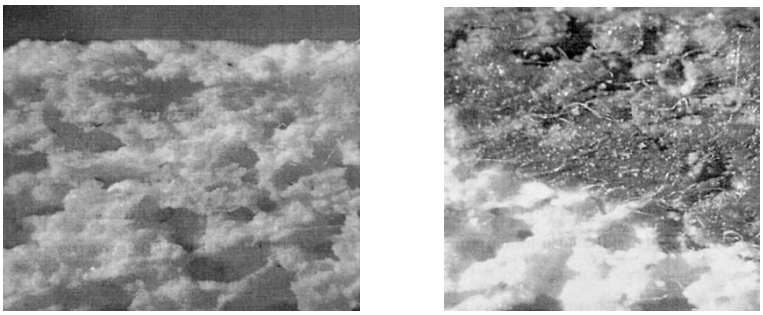
Значения поправок F являются табличными.

Объем капли раствора НДПС равен 0,5 мл, масса составляет 0,0136 кг. Использование этой формулы для расчетов позволяет определять поверхностное натяжение с точностью до 0,1…0,2 %. Поверхностное натяжение раствора НДПС равно 41,58 мДж/м^2, краевые углы смачивания определяли

методом проектирования капли на экран. Для данной системы НДПС краевой угол смачивания равен 23,64°.

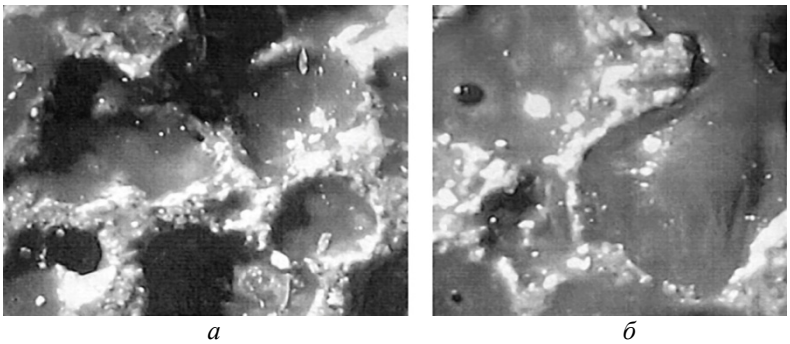
Самопроизвольная пропитка твердого тела возможна, если краевой угол смачивания меньше 90°. Чем меньше угол смачивания, тем легче осуществляется пропитка материала. В данном случае условие выполняется (23,64° < 90°), что подтверждается экспериментальными исследованиями [17, 24—27].

Исследования структуры поверхности проводились методами оптической микроскопии (МБС-9, 10). Структура пленкообразования при нанесении НДПС (рис. 6) обеспечивает эффект «самозалечивания» путем заполнения и блокирования пор и трещин в поверхностном слое образца, что может обусловливать снижение водопоглощения и высокие гидроизоляционные свойства состава НДПС [17, 18, 28—30]. Соотношение сухого компонента композиции и растворителя определяет толщину одного слоя, но она не является определяющим фактором для покрытия в целом. Эффект водонепроницаемости обеспечивается за счет ряда строго последовательных химических реакций между компонентами НДПС, продолжающихся во времени, а также процессов смачивания и адгезии, проходящих внутри структуры защищаемого материала, в результате чего заполняются капилляры, поры и микротрещины поверхности (рис. 7).



а *б*

Рис. 6. Структура поверхности бокового среза образца шамотного кирпича: *а* — перед нанесением покрытия; *б* — после нанесения покрытия



а *б*

Рис. 7. Микроскопическое изображение бетонной поверхности, обработанной наполненной полимерной композицией НДПС: *а* — однослойное покрытие; *б* — двуслойное покрытие

Полученные результаты на данном этапе исследований позволяют говорить о преимуществах полимерной композиции НДПС в сравнении с традиционными полимерными составами на основе эпоксидных смол (ЭД-16, ЭД-20 и т. п.). Полученный состав является тонкодисперсным порошкообразным материалом, что облегчит его доставку непосредственно к месту выполнения работ. Рекомендуемые растворители добавляются непосредственно перед нанесением гидроизоляции. НДПС наносится без предварительной подготовки бетонных поверхностей. Обладая пропиточными свойствами, нанесение НДПС значительно сокращает операцию обработки бетонной поверхности и позволяет снизить дефектность цементного камня, что приводит к повышению прочности бетонной конструкции. Для улучшения прочностных характеристик НДПС ее можно армировать дисперсным материалом минеральной природы. Недостаток при работе с НДПС состоит в том, что трудно добиться гарантированной толщины изолирующей пленки, особенно при больших неровных поверхностях.

Разработка нового состава многокомпонентной полимерной системы холодного отверждения на основе отходов промышленных предприятий региона позволит расширить сырьевую базу исходных компонентов для полимерной гидроизоляции строительного назначения. Использование техногенных отходов снижает себестоимость гидроизоляционной системы, что делает ее экономически целесообразной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мошинский Л. Я.* Эпоксидные смолы и отвердители. Тель-Авив : Аркадия пресс Лтд., 2011. 128 с.

2. *Матюхин С. И.* Поверхностное натяжение и антиадгезионные свойства тонкопленочных покрытий // Пленки и покрытия — 2001 : тр. 6-й Междунар. конф., 2001. Вып. 1. С. 577—581.

3. *Соловьева В. Я.* Проектирование высокопрочного бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками // Бетон и железобетон. 2007. Вып. 3. С. 16—18.

4. *Havlikova I.* Modified cement-based mortars: crack initiation and volume changes // Materiali in Tehnologije. 2015. Vol. 49. No. 4. Pp. 557—561.

5. *Струлев С. А., Ярцев В. П.* Полимербетон на основе эпоксидной и полиэфирной смол с использованием асбофрикционных отходов // Academia. Архитектура и строительство. 2011. Вып. 3. С. 109—111.

6. *Чистов Ю. Д., Краснов М. В.* Наномодификаторы в неавтоклавном ячеистом бетоне // Технологии бетонов. 2010. Вып. 7-8. С. 68—71.

7. *Rao S. H., Somashekaraiah H. M., Ghorpade V. G.* Strength and workability characteristics of fly ash based glass fibre reinforced high-performance concrete // International Journal of Engineering Science and Technology. 2011. Vol. 3. No. 8. Pp. 6266—6277.

8. *Зубов П. И., Сухорева Л. А.* Структура и свойства полимерных покрытий. М. : Химия, 2009. 25 с.

9. *Ngog Thanh Tran*. Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates // Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 101. No. 1. Pp. 80—90.

10. *Рыбьев И. А., Жданова Н. И.* Создание строительных материалов с заданными свойствами // Изв. вузов. Стр-во. 2003. Вып. 3. С. 45—48.

11. *Рыбьев И. А., Жданова Н. И.* Проектирование состава бетона оптимальной структуры с использованием компьютерной программы EXCEL // Изв. вузов. Стр-во. 2000. Вып. 12. С. 33—37.

12. *Соломатов В. И., Селяев В. П.* Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. М. : Стройиздат, 2002. 312 с.

13. *Тринкер А. Б.* Управление структурой и свойствами бетона // Технологии бетонов. 2012. Вып. 11-12. С. 34—38.

14. *Уоррен К.* Новые интеллектуальные материалы и конструкции / Пер. с англ. М. : Техносфера, 2013. 224 с.

15. Защита строительных конструкций промышленных зданий от коррозии / Под ред. Ф. М. Иванова, Ю. А. Савиной. М. : Стройиздат, 2012. 174 с.

16. Исследования в области защиты бетона и железобетона от коррозии в агрессивных средах : сб. тр. НИИЖБ. М. : Стройиздат, 2008. 72 с.

17. *Оудиан Дж.* Основы химии полимеров / Пер. с англ. ; под ред. З. Г. Роговина. М. : Химия, 2006. 326 с.

18. *Skazlic M., Skazlic Z., Majer J.* Application of high performance fibre reinforced shotcrete for tunnel primary support // Shotcrete for Underground Support : proceedings of the 10th International conf., 2012. Pp. 206—214.

19. *Al-Hadithi A. I., Hilal N. N.* The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers // Journal of Building Engineering. 2016. Vol. 8. Pp. 20—28.

20. *Shi X. S., Collins E .G., Zhao X. L*. Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopolymeric recycled concrete // Journal of Hazardous Materials. 2012. Vol. 237. Pp. 20—29.

21. *Дворкин Л. И., Год В. И., Дворкин О. Л.* Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М. : Инфра-Инженерия, 2008. 432 с.

22. *Gadzhiev A. M., Kurbanov R. M., Khadzhishalapov G. N.* The influence of the filler grain composition on the properties of the heat-resistant basaltic // Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017. Vol. 44. No. 3. Pp. 146—155.

23. *Кестельман В. Н.* Физические методы модификации полимерных материалов. М. : Химия, 2015. 224 с.

24. *Бурханова Р. А, Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К.* Наполнение эпоксидных полимеров как фактор получения многокомпонентной композиции с улучшенными прочностными свойствами // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 151—161.

25. *Mohammeda M. K., Al-Hadithi A. I., Mohammed M. H.* Production and optimization of eco-efficient self-compacting concrete SCC with limestone and PET // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 197. Pp. 734—746.

26. *Foreman M. R., Vollmer F.* Optical tracking of anomalous diffusion kinetics in polymer microspheres // Physical Review Letters. 2015. Vol. 114. No. 11. Pp. 257—266.

27. *Ратнер С. Б., Ярцев В. П.* Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность. М. : Химия, 2015. 320 с.

28. *Burkhanova R. A., Akchurin T. K., Stefanenko I. V.* Modified heat-resistant concrete using slag aggregates // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022015/pdf.

29. *Balakrishna M. N., Mohamad F., Evans R.* Durability of concrete with differential concrete mix design // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2020. Vol. 7. No. 4. Pp. 696—701.

30. *Sun H., Li Z., Ali Memon Sh.* Influence of ultrafine 2CaO center dot SiO_2 powder on hydration properties of reactive powder concrete // Materials. 2015. Vol. 8. No. 9. Pp. 6195—6207.

© Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В. Теоретические предпосылки разработки модифицированных эпоксидных композиций на основе техногенных отходов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 164—173.

Об авторах:

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

Евстафьева Наталья Юрьевна — инженер лаборатории № 1 каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; n16121976@yandex.ru

Акчурин Талгать Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., зав. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, проф., зав. каф. энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Renata A. Burkhanova, Natal'ya Yu. Evstaf'eva, Talgat K. Akchurin, Igor' V. Stefanenko

Volgograd State Technical University

THEORETICAL PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF MODIFIED EPOXY COMPOSITIONS BASED ON INDUSTRIAL WASTE

The article deals with a filled two-component cold curing polymer system (FTPS). A phenol-formaldehyde resin of the novolac type was taken as a modifier for the secondary epoxy powder. The preference for this modifier is given in view of the fact that the material is a secondary raw material, produced by the industry and does not require additional refinement before use. The reaction of epoxy resin with novolac phenol-formaldehyde resin in the composition of FTPS leads to the formation of a homogeneous self-curing system containing the copolygomerization product. The original components interact to form a topologically complex spatial mesh.Investigations of the surface structure were carried out by optical microscopy methods (MBS-9, 10). The results obtained at this stage of research allow us to speak about the advantages of the polymer composition. The development of a new composition of FTPS based on waste from industrial enterprises in the region will expand the raw material base of initial components for polymer waterproofing for construction purposes.

K e y w o r d s: filled two-component polymer system (FTPS), modified concrete, epoxy resin, phenol-formaldehyde resin, structure, man-made waste.

For citation:

Burkhanova R. A., Evstaf'eva N. Yu., Akchurin T. K., Stefanenko I. V. [Theoretical prerequisites for the development of modified epoxy compositions based on industrial waste]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 164—173.

About authors:

Renata A. Burkhanova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; renata_vlg@mail.ru

Natal'ya Yu. Evstaf'eva — Engineer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; n16121976@yandex.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, RAASN advisor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

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

УДК 656:621.86

Н. А. Фоменко[а], Р. А. Меняйлова[а], А. А. Ляшенко[а], А. А. Сухов[б]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Металлоконструкции ограждений парковых зон городской инфраструктуры, объектов улично-дорожной сети городов и поселков, мостовых сооружений занимают протяженные расстояния и подвержены кислотным атмосферным воздействиям. В результате разрушается лакокрасочное покрытие и нарушается эстетичный вид ограждений. Для восстановления покрытия ограждения защитными лакокрасочными материалами применяют наиболее распространенные технологии с использованием простых инструментов, таких как кисти, валики и пневматические распылители. Однако все они обладают существенными недостатками, основным из которых является низкая производительность и высокая себестоимость выполняемых работ. Аналитические исследования подтверждают целесообразность проведения опытно-конструкторских работ по поиску нового технического решения. Таким решением можно считать запатентованную авторами конструкцию распылительной системы лакокрасочных материалов для ограждений большой протяженности на базе мобильного грузоподъемного транспортного средства. Однако более глубокое изучение проблемы показывает, что предложенное ранее техническое решение автоматизированного непрерывного покрытия ограждения требует усовершенствования. В этой связи авторами разработана конструкция распылительной системы с опорными роликами, которая не только сохраняет функциональное назначение, но и обеспечивает безостановочное движение распылительной системы вдоль ограждения при неисправности грузоподъемного механизма транспортного средства, что повышает производительность покрытия лакокрасочными материалами ограждений и экологическую безопасность окружающей среды в зоне проведения работы. Такое техническое решение, как и предыдущее, запатентовано авторами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: камера, экран, опорный ролик, распылитель, гидроцилиндр, трубопровод, лоток, емкость, компрессор, траверса, грузоподъемное транспортное средство.

В городской инфраструктуре широко используются ограждения, лакокрасочные покрытия которых подвергаются разрушению от внешней среды. Для восстановления покрытия применяется преимущественно ручной труд и ручной инструмент (кисти, валики, краскопульты [1—18]), что не обеспечивает высокой производительности и низкой себестоимости выполнения работ. Кроме того, существенно повышается расход и возрастают неоправданные потери лакокрасочных материалов, которые приводят к загрязнению окружающей среды.

Применение кистей и валиков при нанесении покрытия на ограждение приводит к увеличению расхода лакокрасочного материала, особенно для обработки решетчатых ограждений и мелких деталей.

Краскопульты, в сравнении с кистью и валиком, существенно сокращают время окраски. Однако при окраске ограждений решетчатой конструкции, в зоне выполнения работ выбрасывается в атмосферу значительное количество неиспользованного продукта распыления, химический состав которого отрицательно влияет на экологическую безопасность окружающей растительной и водной среды.

Из анализа применение пневматического распылителя видно, что в сравнении с кистью и валиком значительно повышается производительность работ, однако для покрытия ограждения большой протяженности потребуется

частая дозаправка емкости и средство для транспортировки компрессора. Поэтому для устранения упомянутых недостатков приведен синтез отдельных элементов и разработана интегрированная схема технического решения, позволяющего устранить недостатки. При этом ручной труд полностью заменен на механизированную систему, управляемую оператором из мобильного транспортного средства с изолированием распылителей распылительной системы от окружающей среды с последующим сбором для утилизации неиспользованного лакокрасочного материала.

Такое техническое решение авторами настоящей статьи ранее предлагалось в виде концепции, реализованной патентом на изобретение [19] (рис. 1 и 2), социальная значимость которой обусловлена защитой окружающей среды от загрязнения неиспользованными лакокрасочными материалами при окраске ограждений.

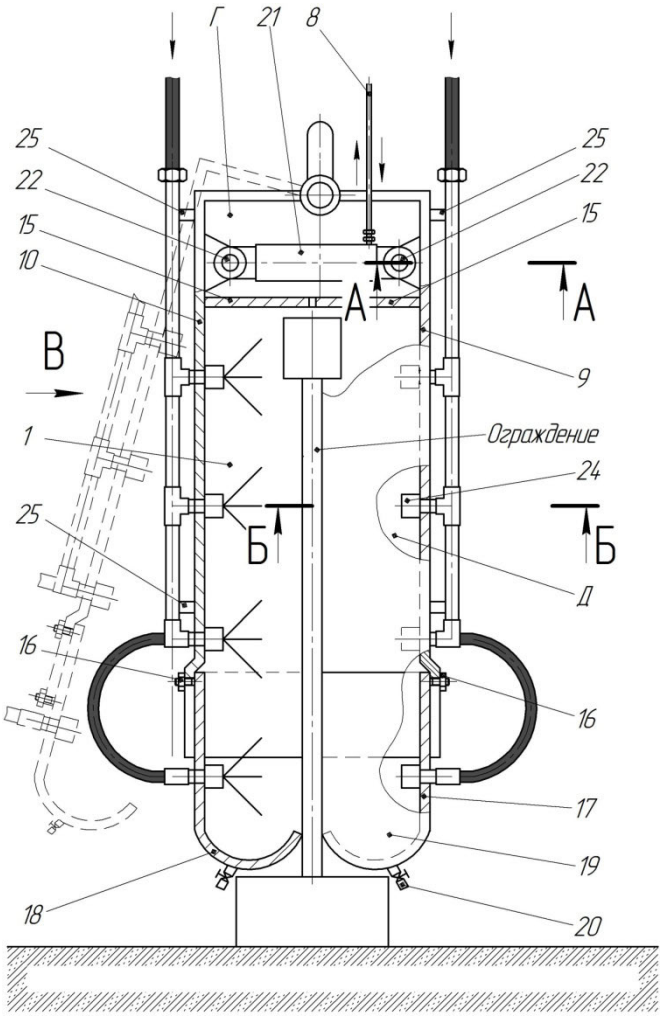


Рис. 1. Распылительная система: *1* — камера; *9*, *10* — экран; *15* — перегородка; *16* — соединение резьбовое; *17* — накопитель; *18* — лоток; *19* — стенка боковая; *20* — штуцер; *21* — гидроцилиндр; *22* — шарнир; *24* — распылитель; *25* — кронштейн

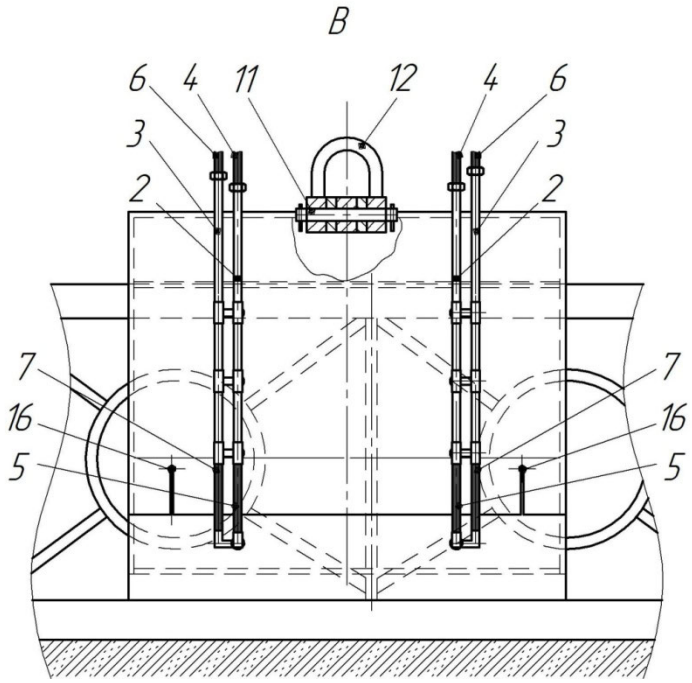


Рис. 2. Распылительная система: *2, 3* — трубопровод металлический; *4—7* — шланг гибкий; *11* — шарнир; *12* — траверса; *16* — соединение резьбовое

Распылительная система содержит распылительную камеру *1*, металлические трубопроводы *2* для подачи лакокрасочного материала, металлические трубопроводы *3* для подачи сжатого воздуха, гибкие шланги *4* и *5* для подачи лакокрасочного материала, гибкие шланги *6* и *7* для подачи сжатого воздуха и гибкий шланг *8* подачи рабочей жидкости гидропривода.

Распылительная система выполнена в виде металлической распылительной камеры *1*, состоящей из двух симметрично расположенных экранов *9* и *10* коробчатого типа, соединенных между собой шарниром *11* с траверсой *12*, предназначенной для навешивания камеры *1* на стрелу мобильного грузоподъемного транспортного средства (на чертеже не показано).

Камера *1* выполнена в виде экранов *9* и *10* из несущих и боковых стенок. В верхней части камеры *1* на внутренних несущих стенках экранов *9* и *10* жестко закреплены перегородки *15*, разделяющие камеру *1* на два отсека — «сухой» *Г* и «мокрый» *Д*. В нижней части экранов *9* и *10* на внутренних несущих стенках с возможностью регулирования по высоте закреплены посредством резьбового соединения *16* накопители *17* коробчатого типа, выполненные в виде лотков *18*, закрытых с двух сторон боковыми стенками *19*, при чем лотки *18* снабжены штуцерами *20* с вентилями для слива лакокрасочного материала осаждаемого при окраске.

В «сухом» отсеке *Г* камеры *1* установлен гидроцилиндр *21* одностороннего действия с гибким шлангом *8* для подачи рабочей жидкости в полость гидроцилиндра *21*, который соединен шарнирами *22* с несущими стенками экранов *9* и *10* и предназначен для разведения экранов *9* и *10* при установке распылительной системы на ограждение.

В «мокром» отсеке *Д* на внутренней поверхности экранов *9* и *10* и накопителей *17* размещены распылители *24*, которые соединены с металлическими трубопроводами *2* подачи лакокрасочного материала и *3* сжатого воздуха, с гибкими шлангами *5* подачи лакокрасочного материала и *7* сжатого воздуха, расположенными на наружных поверхностях экранов *9* и *10*, причем металлические трубопроводы *2* и *3* неподвижно закреплены с помощью кронштейнов *25* на наружных несущих стенках экранов *9* и *10* и через гибкие шланги *4* и *6* соединены с емкостью для лакокрасочных материалов и компрессором для подачи сжатого воздуха, установленными на мобильном грузоподъемном транспортном средстве.

Гибкие шланги *5* и *7* присоединены к металлическим трубопроводам *2* и *3* и предназначены для подачи лакокрасочных материалов и сжатого воздуха к распылителям *24*, расположенным на внутренних поверхностях накопителей *17*, а при регулировке высоты камеры *1* обеспечивают свободное перемещение накопителей *17* относительно несущих стенок экранов *9* и *10*. Емкость для лакокрасочных материалов, компрессор для подачи сжатого воздуха и гидропривод для подачи рабочей жидкости в гидроцилиндр размещены на мобильном грузоподъемном транспортном средстве (на чертеже не показано).

Распылительная система работает следующим образом. Для окраски ограждения распылительную систему подготавливают к работе. Накопители *17* камеры *1* распылительной системы перемещают по внутренним несущим стенкам экранов *9* и *10* на высоту ограждения, фиксируют резьбовыми соединениями *16* и навешивают с помощью траверсы *12* на мобильное грузоподъемное транспортное средство. Гибкие шланги *4* и *6* подачи к распылителям лакокрасочного материала и сжатого воздуха присоединяют к расположенным на мобильном грузоподъемном транспортном средстве емкости для лакокрасочных материалов и компрессору, а гибкий шланг *8* гидропривода для подачи рабочей жидкости — к гидроцилиндру *21*, с помощью которого разводятся экраны *9* и *10* на угол, обеспечивающий свободное прохождение их через верхнюю полку ограждения. После установки камеры *1* на ограждение подача рабочей жидкости в гидроцилиндр *21* прекращается, и экраны *9* и *10* под собственным весом складываются и вытесняют по гибкому шлангу *8* рабочую жидкость из полости гидроцилиндра *21* в гидробак, расположенный на мобильном грузоподъемном транспортном средстве. В результате экраны *9* и *10*, охватывая ограждение, образуют замкнутое пространство «мокрого» отсека *Д* камеры *1*, тем самым изолируют его от окружающей среды. После подготовки распылительной системы к работе в распылители *24* подается лакокрасочный материал и сжатый воздух. В процессе окраски ограждения осаждаемый в лотках *18* лакокрасочный материал через штуцеры *20*, снабженные вентилями, сливается для утилизации.

Анализ функционирования этой системы показывает, что в рабочем положении распылительной системы, при неисправном гидроприводе произойдет произвольное опускание камеры на ограждение, ее заклинивание и повреждение элементов камеры и ограждения. Причиной неисправности может служить нарушение уплотнения и течи рабочей жидкости из поршневой полости гидроцилиндра подъема или опускания стрелы грузоподъемного транспортного средства. Кроме того, из-за утечки рабочей жидкости из

гидроцилиндра, расположенного в «сухом» отсеке камеры, предназначенного для разведения экранов камеры, произойдет смыкание экранов, охватывающих ограждение, которое приведет при движении грузоподъемного транспортного средства к заклиниванию экранов на ограждении и их поломке.

Сущность нового технического решения заключается в том, что распылительная система дополнительно оснащена роликами с ребордами, предназначенными для опоры камеры на ограждение при произвольном ее опускании, причем ролики свободно вращаются на осях, закрепленных резьбовым соединением в сквозном отверстии кронштейнов, симметрично расположенных на торцах одного из экранов камеры, а на торцах другого экрана неподвижно установлен упор, предназначенный с помощью регулировочного наконечника, расположенного на выступающей винтовой поверхности упомянутой оси, обеспечить между экранами камеры гарантированный зазор, исключающий смыкание экранов в рабочем положении распылительной системы.

Распылительная система (рис. 3 и 4), запатентованная [20] авторами, отличается от прототипа наличием опорных роликов, симметрично расположенных по краям камеры *1*. Для реализации предлагаемого технического решения на торцах экрана *9* или *10* с двух сторон неподвижно установлены кронштейны *26* со сквозным отверстием, в которых установлены оси *27*. Для исключения смещения осей *27* относительно кронштейнов *26* выполнен буртик *28*, а на выступающей из сквозного отверстия кронштейна *26* оси *27* выполнена резьба *G*, на которую навинчивается гайка *29* и контргайка *30*. Разъемное соединение кронштейна *26* и оси *27* обусловлено необходимостью повышения ремонтопригодности при демонтаже оси *27* распылительной системы. Для предотвращения произвольного опускания камеры *1* на ограждение с возможностью свободного вращения на ось *27* установлен ролик *31* с ребордами *32*, ограничивающими в рабочем положении боковое смещение камеры *1* относительно ограждения. С целью исключения осевого смещения роликов *31* при разведении экранов *9* и *10* на оси *27* выполнена канавка с установкой стопорного кольца *33*. Таким образом, ролик *31* от осевого смещения фиксируется с одной стороны буртиком *28*, а с другой — стопорным кольцом *33*. На противоположном резьбовом конце *H* оси *27* навинчивается контргайка *34* и резьбовой наконечник *35* с глухим торцом *36*, выполненным в виде сферы. В рабочем положении камеры *1* между экранами *9* и *10* вращением резьбового наконечника *35* между экранами *9* или *10* устанавливается зазор *h*, ограничителем которого являются упоры *37*, симметрично и неподвижно расположенные на торцах экрана *9* или *10*. Сферическая поверхность торца *36* резьбового наконечника *35* предназначена для уменьшения сил трения торца *36* об упор *37* при установке зазора *h* между экранами *9* и *10* камеры *1* распылительной системы.

Таким образом, предлагаемое техническое решение в сравнении с прототипом позволяет повысить эксплуатационную надежность и эффективность работы распылительной системы за счет исключения несанкционированного заклинивания камеры распылительной системы на ограждении и предотвратить повреждения камеры и ограждения.

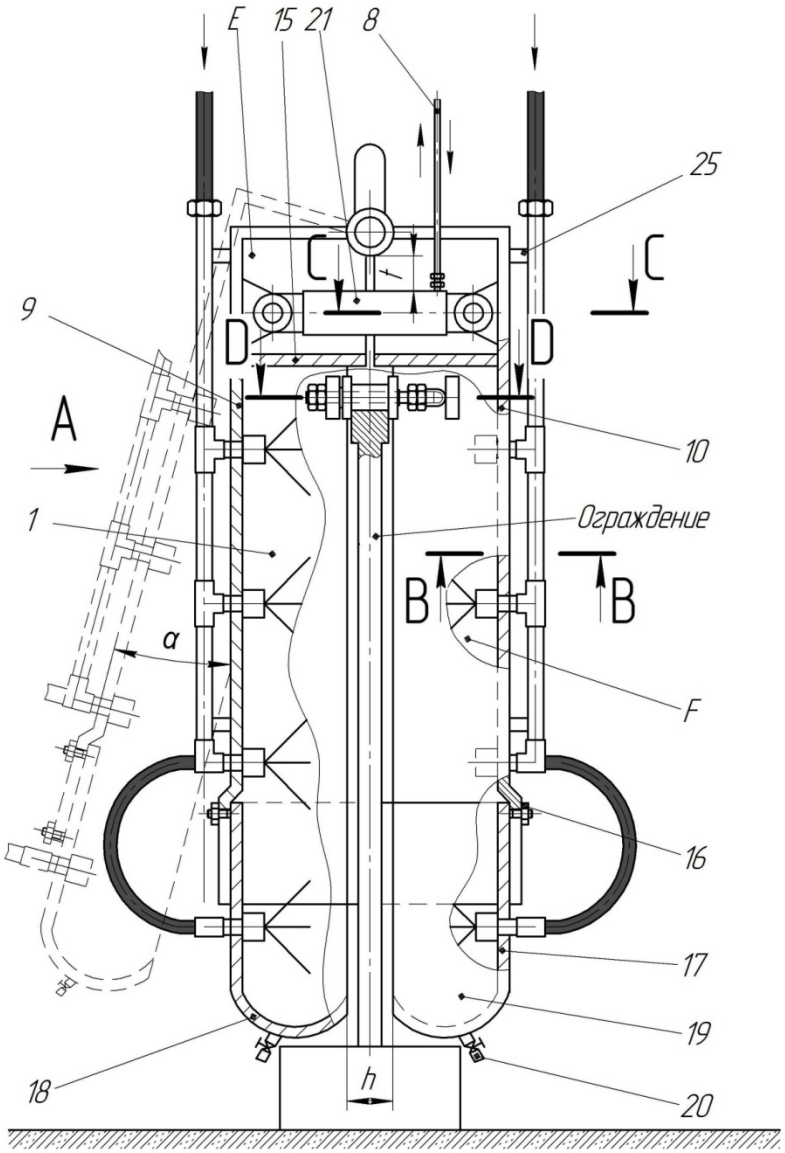


Рис. 3. Распылительная система: *1* — камера; *8* — шланг гибкий; *9*, *10* — экран; *15* — перегородка; *16* — соединение резьбовое; *17* — накопитель; *18* — лоток; *19* — стенка боковая; *20* — штуцер; *21* — гидроцилиндр; *25* — кронштейн

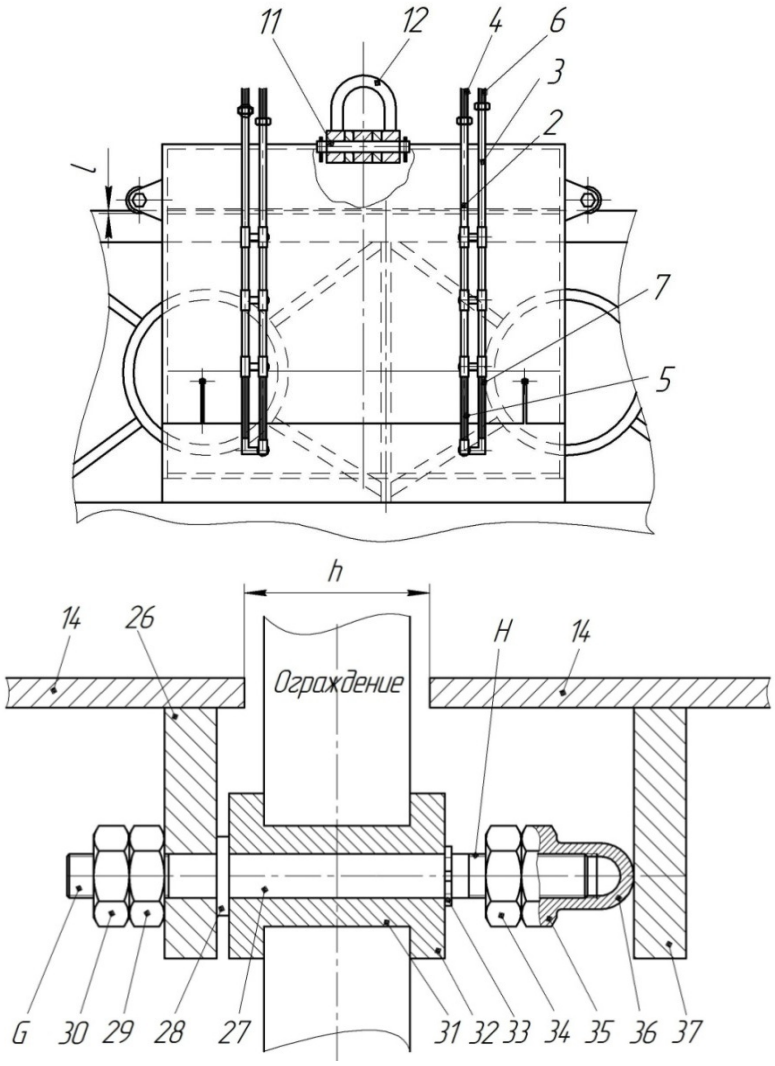


Рис. 4. Распылительная система: *2*, *3* — трубопровод металлический; *4—7* — шланг гибкий; *11* — шарнир; *12* — траверса; *14* — стенка опорная; *26* — кронштейн; *27* — ось; *28* — буртик; *29* — гайка; *30* — контргайка; *31* — ролик; *32* — реборды ролика; *33* — кольцо стопорное; *34* — контргайка; *35* — наконечник резьбовой; *36* — торец упора; *37* — упор

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распылительный пистолет : пат. № 145 941 U1 Рос. Федерация.
2. Краскораспылитель : пат. № 97 65 U1 Рос. Федерация.
3. Краскораспылитель художника : полезная модель № 91 897 U1 Рос. Федерация.
4. Краскораспылитель : пат. № 40 85 U1 Рос. Федерация.
5. Краскораспылитель : пат. № 2 120 339 C1 Рос. Федерация.
6. Пистолет краскораспылитель : пат. № 119 265 U1 Рос. Федерация.
7. *Sai Kiran J. R. V., Prabhu S.* 2020 IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng., 2020. 912 032044
8. *Tyler R.* Spray Paint Pioneers // The World of Chinese. 2014. No. 4.
9. Tool Trajectory optimization of spray painting robot for many-times spray painting / Y. Zeng, J. Gong, N. Xu, N. Wu // International Journal of Control and Automation. 2014. No. 7. Pp. 193—208. DOI: 10.14257/ijca.2014.7.8.17.

10. *Suresh S.* Automatic spray painting machine // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 8. Iss. 6.

11. Automatic spray-painting robot for road markings : patent 202121003480 / Y. Patel, P. Raval J. Thaker et al., 2021.

12. *Fried M.* The "invention of spray painting" // Critical Inquiry. 2008. No. 34. Pp. 189—189.

13. *Appleton E., Williams D.* Spray Painting Applications // Industrial Robot Applications / E. Appleton, D. Williams. Springer, Dordrecht, 1987. Pp. 187—201. DOI: 10.1007/978-94-009-3125-1_8.

14. *Davis J.* Spray painting with robots, 1979.

15. Краскораспылитель : пат. № 2 171 719 U1 Рос. Федерация.

16. Распылитель для жидкостей и сопловая вставка : пат. № 2 205 705 U1 Рос. Федерация.

17. Переносной краскораспылитель : пат. № 2 491 997 U1 Рос. Федерация.

18. Ручной краскораспылитель : пат. № 151 1 97 U1 Рос. Федерация.

19. Распылительная система : пат. № 2 712 570 C1 Рос. Федерация.

© Фоменко Н. А., Меняйлова Р. А., Ляшенко А. А., Сухов А. А., 2021

Поступила в редакцию
в сентябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Фоменко Н. А., Меняйлова Р. А., Ляшенко А. А., Сухов А. А. Совершенствование распылительной системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 174—182.

Об авторах:

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Меняйлова Регина Анатольевна — канд. экон. наук, доц. каф. экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ovvr@mail.ru

Ляшенко Александр Александрович — ассистент каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; lyashenko2626@mail.ru

Сухов Алексей Александрович — канд. техн. наук, зав. лаб., Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН. Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97

Nikolai A. Fomenko[a], Regina A. Menyajlova[a], Alexander A. Lyashenko[a], Aleksey A. Sukhov[b]

[a] Volgograd State Technical University

[b] Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

IMPROVEMENT OF THE SPRAY SYSTEM

The metal structures of fences of park areas of urban infrastructure, objects of the street and road network of cities and towns, bridge structures occupy long distances and are subject to acidic atmospheric influences. As a result, the paintwork is destroyed and the aesthetic appearance of the fences is violated. To restore the coating of the fence with protective paint and varnish materials, the most common technologies are used using simple tools such as brushes, rollers and pneumatic sprayers. However, all of them have significant disadvantages, the main of which is low productivity and high cost the work performed. Analytical studies confirm the feasibility of conducting development work to find a new technical solution. Such a solution can be considered the design of a spray system of paint and varnish materials for long-distance fences based on a mobile lifting vehicle, patented by the authors. However, a deeper study of the problem shows that the previously proposed technical

solution for automated continuous coating fencing requires its improvement. In this regard, the authors have developed. the design of the spray system with support rollers, which not only retains its functional purpose, but also ensures the non-stop movement of the spray system along the fence in case of a malfunction of the lifting mechanism of the vehicle, which increases the productivity of coating with paint materials of fences and environmental safety of the environment in the work area. Such a technical solution, like the previous one, is patented by the authors.

K e y w o r d s: camera, screen, support roller, sprayer, hydraulic cylinder, pipeline, tray, container, compressor, traverse, lifting vehicle.

For citation:

Fomenko N. A., Menyajlova R. A., Lyashenko A. A., Sukhov A. A. [Improvement of the spray 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], 2021, iss. 4, pp. 174—182.

About authors:

Nikolai A. Fomenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Regina A. Menyajlova — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ovvr@mail.ru

Alexander A. Lyashenko — Assistant, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; lyashenko2626@mail.ru

Aleksey A. Sukhov — Candidate of Engineering Sciences, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences. 97, Universitetskiy Ave, Volgograd, 400062, Russian Federation

УДК 541.135

В. Т. Фомичев[а], С. В. Камкова[б], И. А. Куликова[а], Г. В. Чичерина[а]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] МОУ СОШ № 33

ЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ МИКРОМИЦЕТАМИ

В работе рассматриваются особенности биоповреждений строительных материалов и конструкций плесневыми грибами — микромицетами. Приводятся результаты исследования фунгицидных свойств биоцида, полученного методом электролиза растворов бишофита с цинковым анодом на постоянном токе, для защиты от биоповреждений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: биоповреждения, бишофит, плесень, биоцид, фунгицид, грибостойкость.

В настоящее время важной экологической проблемой является биоповреждение строительных материалов и конструкций микроскопическими грибами, в частности в городской среде, при этом резко ухудшаются эксплуатационные характеристики материалов, вызывая биоповреждения и биоразрушения последних. К тому же в среде с высоким содержанием плесневых грибов многократно возрастает вероятность возникновения различных заболеваний у человека.

Низшие грибы — это микроскопические организмы. Их высокая деструктирующая активность обусловлена способностью адаптироваться к материалам различной химической природы, что связано с наличием у них хорошо развитого, мощного и мобильного ферментативного аппарата. Видовое многообразие грибов и их высокая приспособляемость к условиям обитания приводят к тому, что объем материалов, повреждаемых грибами, значительно превышает объем разрушений, производимых бактериями. Многочисленные группы грибов наносят большой экономический ущерб, повреждая древесину, все синтетические полимерные материалы, сталь, бетон, железобетон, силикатное стекло, кремнийорганические материалы, природную и синтетическую резину, лакокрасочные покрытия, асфальт, природный камень и другие строительные материалы (табл. 1) [1—6].

Ведущая роль в процессах биоповреждения строительных материалов различной химической природы, эксплуатируемых в условиях повышенной температуры и влажности, принадлежит плесневым грибам — микромицетам [там же].

Метаболизм плесневых грибов протекает по типу окислительного брожения. Окислительное брожение, вызываемое плесневыми грибами, может происходить только в случае, если у микроорганизмов есть особые ферменты — оксидоредуктазы, катализирующие окислительно-восстановительные реакции неполной деструкции углеводородов в присутствии кислорода воздуха. В качестве промежуточных продуктов этого биохимического процесса образуются органические кислоты (уксусная, глюконовая, щавелевая, фумаровая, янтарная, лимонная и др.), вызывающие коррозию строительных материалов и конструкций.

В качестве пищевого субстрата для микроорганизмов в настоящее время выступают различные строительные и конструкционные материалы (металлы, бетон, полимерные материалы, резина, лаки, краски) [1—3, 6—8].

Результатом роста микроорганизмов на поверхности строительных материалов является ухудшение их физико-механических и эксплуатационных характеристик (снижение адгезии между отдельными компонентами материала, снижение прочности и т. д.) и изменение их внешнего вида (обесцвечивание, вспучивание, расслоение поверхности, образование пигментных пятен самого различного вида, появление специфического запаха и т. д.). Кроме того, развитие плесневых грибов стимулирует биофизические и биоэлектрические коррозионные процессы [1, 3].

Таблица 1

Микроорганизмы, представляющие наибольшую опасность для строительных материалов

Материал	Мицелиальные грибы и дрожжи	Бактерии
Лакокрасочные покрытия	Alternaria, Aspergillus, Cladosporium, Penicillium, Trichoderma, Aureobasidium, Fusarium	Flavobacterium marium, Pseudomonas
Камень, бетон, мрамор	Aspergillus, Penicillium	Нитрифицирующие, тионовые, цианобактерии, Pseudomonas, Athrobacter, Streptomyces
Металлы и сплавы	Aspergillus, Penicillium, Trichoderma	Crenotrix, Gallionella, Zeptotrix, Thiobacillus, Sphaerotilis, разнообразные сульфатредуцирующие бактерии
Дерево	Coniophora, Tyromyces, Zentinus, Serpula, Gloeophyllum, Trametes, Pleurotus, Schizophyllum	

Массовое развитие плесневых грибов приводит к возникновению запаха плесени в жилых помещениях, что может стать причиной серьезных заболеваний, поскольку среди них есть виды, патогенные для человека [9—11]. Доказано, что для здоровья вредно вдыхать воздух, содержащий вещества жизнедеятельности плесневых грибов — споры. Регулярно попадая в легкие, споры грибков, таких как Aspergillus niger (черный аспергилл), Penidllium и Cladosporium, вызывают развитие аллергических заболеваний — бронхиальной астмы, ринита и др. [12]. Большую опасность представляют грибы рода Aspergillus, возбудители легочного аспергиллеза, часто заканчивающегося летальным исходом [12, 13—16].

Одним из наиболее эффективных и длительно действующих способов защиты строительных материалов и конструкций от поражений микроорганизмами является применение биоцидных соединений. Последние вводятся в состав материала в процессе его изготовления или методом пропитки.

Биоциды можно разделить на две группы:

1) фунгициды — для защиты материалов и конструкций от повреждения грибами (главным образом плесневыми);

2) бактерициды — для защиты материалов и изделий от гнилостных, слизеобразующих, кислотообразующих и других бактерий.

В основе действия биоцидных добавок лежит их способность ингибировать активность ферментов и определенные реакции метаболизма грибов, угнетать дыхание, нарушать их клеточные структуры. Фунгицид, контактируя с клеточной оболочкой гриба, проникает в клетку и вступает во взаимодействие с ее компонентами, подавляя биосинтез [1—3, 6, 7].

По химическому строению биоциды, применяемые для уничтожения плесневых грибов, можно классифицировать на группы (табл. 2) [12, 17].

Таблица 2

Классификация биоцидов по химическому строению

Биоцид	Опасность от использования
Органические соединения	
Монохлорацетоаминоканифоль, 4,5,6-трихлор-бензоксазалинон, н-доцилбензилпиридиний-хлорид, бензизо-стазолин-3-ОН, 2-бензилгендазолларбамат, гептахлорнафтол и др.	Действие этих биоцидов носит временных характер, они мигрируют на поверхность изделия и вступают во взаимодействие с микроорганизмами. Являются токсичными для организма
Металлорганические соединения	
Этилмеркуртиосалицилат натрия, фенилацетат ртути, фенилмеркурацетат, нафтенат меди, тиметилоловометакрилат, триэтилоловохлорид, трибутилметаларилоксистаннат и др.	Отсутствие бактерицидной активности, высокая токсичность и очень высокая стоимость
Антибиотики	
Нистатин, биомицин, террамицин, трихотецин, гризеофульвин; стрептомицит, пурамицин и др.	
Неорганические соединения	
Хлорокись меди, хлорокись цинка, окись цинка, хлорид цинка, бихромат аммония, тетрафторборат аммония, фтористый натрий, пиросульфат натрия и др.	Под воздействием хлора корродируют металлические, железобетонные и иные конструкции; хлор относится к боевым отравляющим веществам. Биоциды на основе солей меди снижают прочность цементного камня; медь является ядом. У соединений цинка очень низкий уровень токсичности

Данные таблицы указывают на то, что более перспективными в качестве биоцидов для защиты строительных материалов, более экологически безопасными для строительных объектов и человека являются неорганические соединения на основе цинка. Рассматривая биогеохимические характеристики тяжелых металлов, можно выделить цинк как один из элементов, который обладает способностью фунгицидной композиции на основании солей цинка вызывать свободно-радикальные процессы. Они приводят к нарушению сбалансированности между прооксидантной и антиоксидантной системой и формируют окислительный стресс [12].

Соединения цинка и серебра в настоящий момент используются как неорганические антимикробные системы. Эти соединения практически являются инертными. Только при взаимодействии с влагой происходит выделение ионов серебра. При взаимодействии с энзимами они способны менять метаболизм у микроорганизмов. Главное преимущество таких соединений — высокая термостабильность (до 5000 °С) и весьма низкий уровень токсичности. Это позволяет допускать их к применению в косметических продуктах, непосредственному контакту с пищевыми продуктами [там же].

Ниже приводятся данные по исследованию влияния нового биодезинфектанта (биоцида), полученного электролизом растворов бишофита, на постоянном токе с цинковыми анодами, на свойства возбудителей биологического разрушения модельных бетонных конструкций [12, 17, 18].

В предварительных исследованиях использовался раствор бишофита как основа для электрохимического получения гипохлорита цинка [12, 19].

Основой бишофита (до 96 %) служит кристаллический шестиводный хлорид магния $MgC1_2 \cdot 6H_2O$. Наличие в молекуле бишофита хлорид-иона позволяет на основе его растворов, используя электрохимические методы, получать новый биодезинфектант, обладающий высокой биоцидной активностью [там же].

В процессе электролиза на электродах происходят процессы образования хлорноватистой и бромноватистой кислот, ионов цинка с щелочью с образованием гипохлорита и гипобромита магния и цинка. Часть получающихся гипохлоритов в значительной степени диссоциирует с образованием ионов, которые способны к дальнейшему анодному окислению с образованием хлорит-иона. Образующиеся при электролитическом окислении раствора природного бишофита хлорит-, гипохлорит-, гипобромит-ионы и ионы цинка при взаимодействии создают синергический эффект, усиливающий бактерицидную активность конечного дезинфицирующего продукта, что отличает получаемый продукт от используемых в настоящее время [18, 19].

Возникающие в результате смешения мицеллярные структуры содержат ионы гипохлоритов, цинка и магния, что дает возможность использовать этот продукт как для коагуляции, так и для обеззараживания строительных растворов бетона [12, 20, 21].

Установлено, что названные соединения, помимо высоких показателей термо- и огнестойкости, гидрофобизирующих свойств, инертности к большинству материалов, отличных диэлектрических и теплофизических характеристик, обладают сильными и стойкими по отношению к плесневым грибам микоцидными (фунгицидными) свойствами. Они могут быть добавками для придания соответствующего качества строительным материалам и конструкциям [12].

Для предварительного изучения степени влияния биоцидного раствора для определения фунгицидных свойств использовалась биологическая среда ЭНДО в лабораторных условиях. Питательная среда ЭНДО состоит из продуктов растительного происхождения, и на ней создаются оптимальные условия для размножения микроорганизмов.

На рис. 1 представлена зависимость динамики развития микроорганизмов от температуры среды в условиях без биоцида.

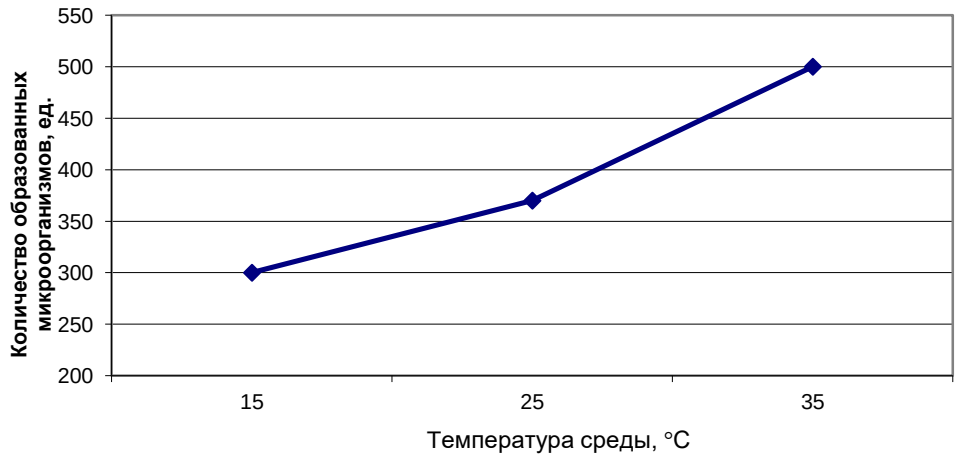


Рис. 1. Влияние температуры на количество микроорганизмов (колонии семейства энтрабактерии) в среде при нормальных условиях (без добавки)

Количественный рост микроорганизмов линеен возрастанию температуры. При повышении температуры с 15 до 25 градусов количество образованных микроорганизмов возрастает от 300 до 370 ед., дальнейшее возрастание температуры на 10 градусов, с 25 до 35, приводит к увеличению численности микроорганизмов от 370 до 500 ед., что соответствует кинетике зависимости реакций первого порядка.

Из рис. 2 следует, что действие раствора, содержащего гипохлорит цинка, на микрофлору чрезвычайно эффективно: в процессе воздействия 1 мл раствора на биологическую среду за 36 ч при температуре 25 °С образование колоний семейства энтрабактерий (красно-розовых колоний диаметром 2…3 мм) уменьшалось в 100 раз. При повышении температуры количество бактерий увеличилось, что является причиной размножения и развития микроорганизмов в исследуемой биологической среде. При увеличении концентрации раствора от 50 до 200 мг/л количество энтрабактерий уменьшилось в 1000 раз. Эти данные позволяют предложить использование данного раствора для получения материалов с фунгицидными свойствами, которые заключаются в создании неблагоприятных условий для роста, спорообразования и физиологической активности микроорганизмов на строительных материалах [там же].

Исследование грибостойкости бетонов (цементного камня) проводилось по стандартной методике: образцы подготовлены в соответствии с ГОСТ 9.048—91, заражались споровой суспензией плесневых грибов видов Penicillium chysogenum, Trichoderma viride, Aspergillus niger и др. и выдерживались на агаровой среде при температуре (29 ± 2)°С и влажности воздуха более 90 % в течение периода времени продолжительностью до 30 сут. Исследования изменений прочностных характеристик образцов цементного камня производили в соответствии с ГОСТ 10180—90 [там же].

Из смесей каждого исследуемого состава (раствора) были образованы контрольные композиты. Образцы-кубы раствора размером 7,0 × 7,0 × 7,0 мм выдерживались при температуре 29 °С и относительной влажности у поверхности

образцов цементного камня 90 %, а затем испытывались на сжатие и прочности во время 1-х и 30-х суток. Испытания проводились по ГОСТ 5802—86. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

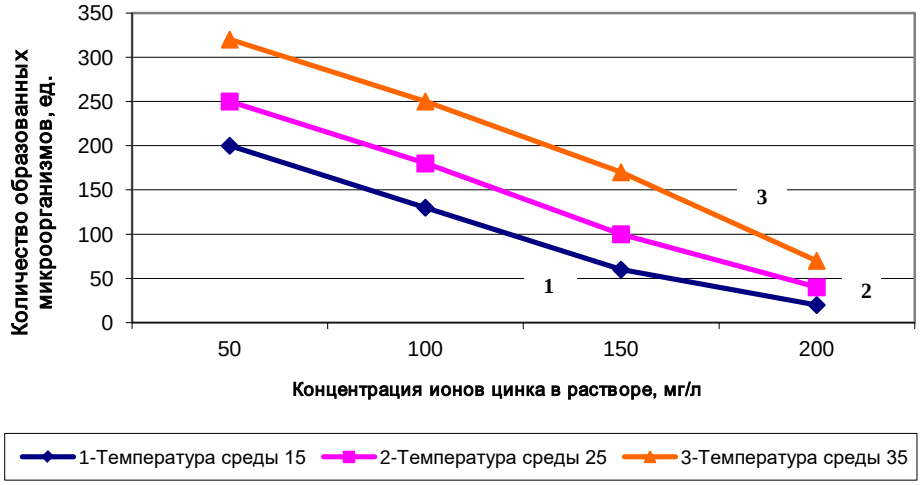


Рис. 2. Влияние концентрации биоцидного раствора и температуры на изменяемость микроорганизмов в макетной среде (агар-пептонная)

Таблица 2

Изменение прочностных характеристик цементного раствора при экспозиции в модельной среде

Смесь, состав	Прочность на сжатие в возрасте 1 сут, кгс/см^2	Приращение прочности по сравнению с контрольным составом в возрасте 1 сут, %	Прочность на сжатие в возрасте 30 сут, кгс/см^2	Приращение прочности по сравнению с контрольным составом в возрасте 30 сут, %
Контрольный состав (цемент, песок)	101	—	252	—
Основной состав № 1 (заражен плесневыми грибами)	103	+2	95	–157
Основной состав № 2 (добавка биоцида 0,3 % массы цемента)	160	+59	344	+26
Основной состав № 3 (заражен плесневыми грибами + добавка биоцида 3,0 % массы цемента)	160	+59	335	+36

Данное исследование механических характеристик цементного раствора из бетона при экспозиции в модельную среду показало значительную потерю предела прочности при сжатии $R_{сж}$ в результате воздействия плесневых грибов [там же].

Анализируя изменения прочностных показателей исследуемых образцов, можно заметить, что в первые сутки помещенные в зараженную среду образцы характеризуются некоторым повышением прочности, однако на 30-е сутки наблюдается ее снижение. Уже доказано, что увеличение прочности в начальный момент времени эксперимента объясняется возникновением новообразований в бетоне за счет взаимодействия цемента с водой (процессами гидролиза и гидратации цемента) [там же].

Исследования микроструктуры цементного камня показали, что продукты гидратации главным образом кальматируются в порах и дефектах структуры, что способствует процессу «самозалечивания», образованию более плотной мелкокристаллической структуры бетона, способствующей его упрочнению.

Понижение прочности образцов объясняется процессами активизации жизнедеятельности микроорганизмов (плесневых грибов) в результате снижения щелочности среды за счет карбонизации цементного камня и выделения в материал органических кислот.

Введение в состав на стадии изготовления образцов фунгицида на основе бишофита и гипохлорита цинка (II) способствует увеличению подвижности бетонной смеси с 4 до 20 см и более без снижения прочности композита при постоянном В/Ц отношении, уменьшению водопотребности цементной смеси до 22 % для равноподвижных смесей, сокращению расхода цемента до 20 %.

Как показали лабораторные исследования, введение исследуемого раствора в состав бетона в количестве 0,10…0,25 % от массы цемента полностью подавляет рост плесневых грибов, выделенных с поверхности аналогичных и незащищенных образцов цементного камня. Прочностные характеристики цементного композита с исследуемой биоцидной добавкой при заражении спорами плесневых грибов не снижаются, а, наоборот, несколько повышаются за счет увеличения подвижности цементной смеси, снижения В/Ц отношения и уплотнения его структуры.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что исследуемая добавка обладает и фунгицидным действием и позволяет получить бетоны с повышенной прочностью для эксплуатации в условиях биологически активных сред.

Использование фунгицидной добавки на основе бишофита с цинком способствует повышению стойкости строительных материалов к воздействию агрессивных сред, моделирующих продукты жизнедеятельности микроорганизмов — мицелиальных грибов и бактерий, формирует безопасную область для обитания человека и обеспечивает экологическую безопасность различных объектов строительства и городского хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В.* Введение в биоповреждение строительных материалов : моногр. Казань : Изд-во Казан. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014. 200 с.

2. *Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В.* Биоповреждение строительных материалов : учеб. пособие. Казань : Изд-во Казан. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2018. 61 с.

3. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов и др. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 193 с.

4. Биоповреждения : учеб. пособие для биол. спец. вузов / Под ред. В. Ф. Ильичева. М. : Высш. шк., 1987. 258 с.

5. *Ребрикова Н. Л., Назарова О. Н., Дмитриева М. Б.* Микромицеты, повреждающие строительные материалы в исторических зданиях, и методы их контроля // Биологические проблемы экологического материаловедения : материалы конф. Пенза, 1995. С. 59—63.

6. *Рубан Е. Л.* Физиолого-биохимические особенности мицелиальных грибов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 1991. Т. 27. № 2. С. 163—177.

7. *Инсодене Р. В., Лугаускас А. Ю.* Ферментативная активность микромицетов как характерный признак вида // Проблемы идентификации микроскопических грибов и других микроорганизмов : тез. докл. конф. Вильнюс, 1987. С. 43—46.

8. *Кондратюк Т. А., Коваль Э. З., Рой А. А.* Поражение микромицетами различных конструкционных материалов // Микробиол. журн. 1986. Т. 48. № 5. С. 57—60.

9. *Митрофанов В. С.* Аллергический бронхолегочный аспергиллез // Проблемы мед. микологии. 2000. Т. 2. № 1. С. 31—40.

10. Mould in buildings: the air spora of domestic dwellings / C. A. Hunter, C. Grant, B. Flannigan, A. F. Bravery // International Biodeterioration. 1988. No. 24. Pp. 81—101.

11. *Reynolds S. J., Streifel A. J., McJilton C. E.* Elevated airborne concentrations of fungi in residental and office environments // American Industrial Hugiene Association Journal. 1990. Vol. 51. No. 11. Pp. 601—604.

12. *Камкова С. В.* Разработка и обоснование использования препарата на основе минерала бишофит для решения экологической безопасности объектов строительства : дис. … канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 125 с.

13. *Rogers S. A.* Indoor fungi as the cause of diverse and resistant symptoms // Man and Ecosyst : Proceedings Of 8th World Clean Air Congr., The Hague. Vol. 1. Amsterdam ect., 1989. Pp. 321—326.

14. *Morey P.* Mold growth in buildings: Removal and prevention // Proceedings of Indoor Air'96, Nagoya, Japan, 1996. Vol. 2. Pp. 27—36.

15. *Van Burik J.-A. H., Magee P. T.* Aspects of fungal pathogenesis in humans // Annu. Rev. Microbiol. 2001. No. 55. Pp. 743—772.

16. Toxic effects of indoor molds (RE9736) / R. Etzel at al. // Pediatrics. 1998. Vol. 101. No. 4. Pp. 712—714.

17. *Лугаускас А. Ю., Микульскине А. И., Шляужене Д. Ю.* Каталог микромицетов — биодеструкторов полимерных материалов. М. : Наука, 1987. 349 с.

18. Способ получения гипохлорита : пат. № 2238348 Рос. Федерация, МПК7 C25B 1/26, 1/18 / Фомичев В. Т., Куликова И. А. и др. ; заявл. 30.07.03; опубл. 20.10.04. Бюл. № 29.

19. Электрохимия бишофита : моногр. / В. Е. Древин, В. Т. Фомичев, Н. А. Филимонова, И. А. Куликова. Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2012. 104 с.

20. Экологическая оценка фунгицидных свойств биоцида на основе бишофита для защиты бетонов от биоповреждений / С. В. Камкова, И. А. Куликова, В. Т. Фомичев, Н. А. Филимонова // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2016. № 43(62).

21. *Фомичев В. Т., Камкова С. В., Филимонова Н. А.* Повышение биостойкости строительных материалов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2012. № 27(46). С. 34—38.

© Фомичев В. Т., Камкова С. В., Куликова И. А., Чичерина Г. В., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Фомичев В. Т., Камкова С. В., Куликова И. А., Чичерина Г. В. Защита строительных материалов и конструкций от повреждений микромицетами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 183—191.

Об авторах:

Фомичев Валерий Тарасович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; cand@vstu.ru

Камкова Светлана Витальевна — канд. техн. наук, зам. дир. по УВР, МОУ СОШ № 33. Российская Федерация, 400117, г. Волгоград, ул. Симонова, 29; bolshe_sveta@mail.ru

Куликова Ирина Александровна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Чичерина Галина Владимировна — канд. хим. наук, доц. каф. общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; galina_chicherina@ramrler.ru

Valerii T. Fomichev[a], Svetlana V. Kamkova[b], Irina A. Kulikova[a], Galina V. Chicherina[a]

[a] Volgograd State Technical University

[b] Middle School no. 33

PROTECTION OF BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES FROM DAMAGE BY MICROMYCETES

We present a study of the fungicidal properties of disinfectant, biocide, obtained by electrolysis of solutions bishofit DC Vym zinc-anodes for concrete protection against biological damage.

K e y w o r d s: biological damage, bishofit, mold, biocode, fungicides, fungal resistance.

For citation:

Fomichev V. T., Kamkova S. V., Kulikova I. A., Chicherina G. V. [Protection of building materials and structures from damage by micromycetes]. *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], 2021, iss. 4, pp. 183—191.

About authors:

Valerii T. Fomichev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd**,** 400074, Russian Federation; cand@vstu.ru

Svetlana V. Kamkova — Candidate of Engineering Sciences, Middle School no. 33. 29, Simonova st., Volgograd, 400117, Russian Federation; bolshe_sveta@mail.ru

Irina A. Kulikova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Galina V. Chicherina — Candidate of Chemical Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd**,** 400074, Russian Federation; galina_chicherina@rambler.ru

УДК 621.472:519.87

С. Н. Торгашина, Т. Б. Гадаборшева, В. Д. Косовцев, Е. А. Чорнобай

Волгоградский государственный технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

По мнению авторов статьи, солнечное излучение поступает к поверхности Земли неравномерно, и его преобразование в процессе использования связано со значительными затратами. Методы расчета солнечных систем теплоснабжения отличаются различной степенью сложности и надежности. В инженерной практике часто используются приближенные методы расчета. Цель расчета системы солнечного теплоснабжения состоит в определении ее теплопроизводительности, площади коллектора, характеристик теплового аккумулятора, расхода теплоносителя в коллекторе и его ориентации. Несмотря на многообразие конструкций солнечных коллекторов, общими элементами каждого из них являются прозрачное покрытие, тепловоспринимающая панель, теплоизоляция, корпус приемника.

К л ю ч е в ы е с л о в а: температура поглощающей пластины, степень черноты пластины, коэффициент теплопроводности, температура жидкости на входе, температура жидкости на выходе, коэффициент конвективной теплоотдачи, значение полезной энергии.

Теоретическую модель процесса теплообмена в системе солнечного теплоснабжения можно описать системой уравнений. Эмпирическое соотношение для U_t было получено Клейном [1, 2] на основе метода Хоттеля и Верца. Это соотношение соответствует графикам U_t в диапазоне значений *температуры* пластины от 40 до 130 °С.

$$U_L = \left[\left(\frac{N}{\frac{344}{T_{p,m}} \left[(T_{p,m} - T_a)/(N+f) \right]^{-0,31}} + \frac{1}{\alpha_W} \right)^{-1} + \right.$$
$$\left. + \frac{\sigma (T_{p,m} + T_a) \cdot (T_{p,m}^2 + T_a^2)}{\left[E_p + 0,0425 N (1 - E_p) \right]^{-1} + \left[(2N + f - 1)/E_g \right] - N} \right] + U_B, \quad (1)$$

где U_L — общий коэффициент теплопотерь коллектора,. Вт/(м^2·К); U_B — коэффициент теплопотерь через нижнюю изоляцию, Вт/(м^2·К); N — число покрытий, шт.; $T_{p,\,m}$ — температура поглощающей пластины, К; E_p — степень черноты пластины; E_g — степень черноты стекла.

Потери энергии через нижнюю изоляцию представлены двумя последовательно расположенными сопротивлениями R_1 и R_2. R_1 — термическое сопротивление изоляции, а R_2 — сопротивление, обусловленное конвекцией и излучением в окружающую среду. Обычно можно предположить, что $R_2 = 0$, т. е. полное термическое сопротивление практически равно термическому сопротивлению изоляции[1]. Таким образом, коэффициент потерь через нижнюю изоляцию приблизительно равен $U_B = \frac{1}{R_1} = \frac{\lambda}{\delta}$.

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

$$U_B = \frac{\lambda}{\delta}, \quad (2)$$

где λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); δ — толщина листа, м.

Из-за изменения тепловых потерь по длине коллектора разность температур пластины и жидкости не постоянна в направлении потока. Приближенно средняя температура пластины и средняя температура жидкости связаны соотношением $T_{p,m} - T_{f,m} = Q_U \cdot R_{p-f}$, отсюда

$$T_{p,m} = Q_U R_{p-f} + T_{f,m}, \quad (3)$$

где Q_U — тепловой поток, передаваемый в коллекторе жидкости, Вт; R_{p-f} — сопротивление переноса тепла от пластины к жидкости, Вт; $T_{f,m}$ — средняя температура жидкости в коллекторе, К.

Представление полезной энергии в форме (4) удобно при исследовании солнечных установок, поскольку температура жидкости на входе обычно известна [3]. Однако необходимо помнить, что потери, вычисленные по температуре жидкости на входе, слишком малы, поскольку тепло теряется по всей длине коллектора, а температура жидкости в направлении потока непрерывно увеличивается. Множитель F_R является поправкой, уменьшающей значение полезной энергии, вычисленное при условии, что вся поверхность коллектора находится при температуре жидкости на входе $T_{f,i}$, до фактического значения полезной энергии.

$$Q_U = SF_R\left[E_K - U_L(T_{f,i} - T_a)\right]. \quad (4)$$

Для систем нагрева жидкости или воздуха термическое сопротивление между пластиной и жидкостью определяется главным образом коэффициентом конвективной теплоотдачи. Это предполагает для трубчато-реберных коллекторов высокие значения теплопроводности соединения трубы с пластиной и эффективности ребра. Таким образом, величина R_{p-f} для жидкости, текущей по трубам, определяется выражением $1(\alpha_{f,i}\ \pi D_i n L)$. Для простого коллектора это сопротивление равно обратной величине произведения коэффициента теплоотдачи от пластины к воздуху на площадь коллектора.

$$R_{p-f} = \frac{1}{\alpha_{f,i} \cdot \pi \cdot D_i \cdot n \cdot L}, \quad (5)$$

где $\alpha_{f,i}$ — коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к жидкости, Вт/(м^2·К); n — число труб в коллекторе, шт.; L — длина трубы в коллекторе, м.

Уравнения (6) и (3) решаются методом итераций вместе с уравнением (1). Сначала оценивается средняя температура пластины, по которой рассчитывается U_L. Для приближенных значений Q_U, F_R определяется новое значение средней температуры пластины, и цикл расчетов повторяется.

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{Q_U / S}{U_L \cdot F_R}\left(1 - \frac{F_R}{F'}\right), \quad (6)$$

где S — площадь коллектора, м^2; F_R — коэффициент отвода тепла из коллектора; F' — эффективность коллектора.

Уравнение эффективности коллектора. Для рассматриваемого коллектора физический смысл параметра F' становится ясным, если принять во внимание, что знаменатель уравнения (7) представляет собой сопротивление переносу тепла от жидкости к окружающему воздуху. Это сопротивление обозначим $1/U_0$. С другой стороны, числитель представляет собой сопротивление переносу тепла от поглощающей пластины коллектора окружающему воздуху. Таким образом,

$$F' = \frac{1/U_L}{W\left[\frac{1}{U_L\left[D+(W-D)\cdot F\right]}+\frac{1}{C_{\text{в}}}+\frac{1}{\pi\cdot D\cdot \alpha_{f,i}}\right]} = \frac{U_0}{U_L}, \tag{7}$$

где W — расстояние между трубами, м; F — эффективность прямоугольного ребра.

Уравнение проводимости ребра. Проводимость соединения листа с трубой можно оценить, если известны коэффициенты теплопроводности, средняя толщина слоя и длина соединения.

(8)

где λ — коэффициент теплопроводности соединения, Вт/м·К; b — длина слоя соединения, м; γ — средняя толщина слоя, м.

Проводимость может оказывать существенное влияние на рабочие характеристики коллектора[2]. Уиллер и Салуей экспериментально показали, что простое крепление труб к листу с помощью проволоки приводит к существенному ухудшению характеристик коллектора. Они пришли к выводу, что необходим надежный контакт металлов, чтобы сопротивление между листом и трубой не превышало 0,03 м · град./Вт.

Функция F — эффективность прямого ребра прямоугольного профиля

$$F = \frac{t_n\left[m(W-D)/2\right]}{m(W-D)/2}, \tag{9}$$

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{K\delta}}, \tag{10}$$

где K — коэффициент теплопроводности; Вт/(м · К); δ — толщина листа, м.

Уравнение передачи тепла от коллектора теплоносителю

$$Q_U = S\cdot F_R\left[E_K - U_L\cdot(T_{f,i}-T_a)\right],$$

$$Q_U = S\left[\frac{GC_p}{U_L}(1-e^{-U_L\cdot F'/G\cdot C_P})\right]\left[E_K - U_L(T_{f,i}-T_a\right], \tag{11}$$

[2]Сайт инновационных энергопроектов Карлсруе, Германия, 2008. URL: www.energie-projekte.de.

где Q_U — тепловой поток, передаваемый в коллекторе жидкостью, Вт; S — площадь коллектора, м^2; G — расход жидкости на единицу площади коллектора, кг/с; C_p — теплоемкость, кДж/(кг·К); U_L — теплопотери, Вт/(м^2·К); F' — эффективность коллектора; E_K — мощность радиации, Вт/м^2; $T_{f,\,i}$ — температура на входе в коллектор, К; T_a — температура окружающей среды, К; $T_{p,m} = Q_U \cdot R_{p-f} + T_{f,m}$.

$$T_{p,m} = \left(S \cdot F_R \left[E_K - U_L (T_{f,i} - T_a)\right]\right)\left(\frac{1}{\alpha_{f,i} \cdot \pi \cdot D_i \cdot n \cdot L}\right) + \\ + \left[\left(T_{f,i} - T_a + T_a\right) + \frac{Q_U / S}{U_L \cdot F_R}\left(1 - \frac{F_R}{F'}\right)\right]; \quad (12)$$

$$\frac{T_{f,y} - T_a - E_K / U_L}{T_{f,i} - T_a - E_K / U_L} = e^{-(U_L \cdot W \cdot F' \cdot y / G \cdot C_p)}, \quad (13)$$

где $y = L$ — толщина изоляции.

$C_p \cdot G(T_{f,y} - T_{f,i}) = Q_{\text{бака}}$, или $Q_\text{б} = K\,F(T_{f,\,y} - T_{f,\,i})$,

$T_{f,\,y} - T_{f,\,i}$ — разность температур на входе и выходе из бака.

$F = \pi \cdot D \cdot L$,

где D — диаметр, м; L — длина змеевика, м.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (14)$$

где α — коэффициент конвективного обмена; Вт/(м^2 · К); λ — коэффициент теплопроводности слоя, Вт/(м · К); K — коэффициент теплопроводности соединения, Вт/(м · К).

Таким образом, решение поставленной задачи сводится к решению системы пяти уравнений с пятью неизвестными, где U_L, Q_U, $T_{p,\,m}$, T_i, T_y — неизвестные[3].

$$U_L = \left(\frac{N}{\frac{344}{T_{p,m}}\left[(T_{p,m} - T_a)/(N+f)\right]^{-0,31}} + \frac{1}{\alpha_W}\right)^{-1} + \\ + \frac{\sigma(T_{p,m} + T_a)(T_{p,m}^2 + T_a^2)}{\left[E_p + 0,0425N(1-E_p\right]^{-1} + \left[(2N + f - 1)/E_g\right] - N}\ ] + U_B,$$

[3]Там же.

$$Q_U = S\left[\frac{G \cdot C_p}{U_L}(1 - e^{-U_L \cdot F'/G \cdot C_P})\right]\left[E_K - U_L \cdot T_i\right],$$

$$T_{p,m} = \left(SF_R\left[E_K - U_L T_i\right]\right)\left(\frac{1}{\alpha_{f,i}\pi D_i n L}\right) + \left[\left(T_i + T_a\right) + \frac{Q_U / S}{U_L F_R}\left(1 - \frac{F_R}{F'}\right)\right],$$

$$T_i = \frac{E_K}{U_L} - \frac{Q_{\text{бака}}}{C_p G}\frac{1}{\left(1 - e^{-(U_L W F' y / G \cdot C_p)}\right)},$$

$$T_y = \frac{E_K}{U_L} - \frac{Q_{\text{бака}}}{C_p G}.$$

Таким образом, имея данные о расположении коллектора, необходимо рассчитать количество падающей солнечной энергии, которая передается теплоносителю, отражается и передается окружающей среде через изоляцию [4—7].

Рассмотрим зависимость этих величин от: метеорологических параметров ($E_к$, V), параметров оптимизации (D, N), технологических параметров ($T_{f,y} - T_{\text{окр.среды}}$).

Рассмотрим зависимость U_L от количества остеклений при разных скоростях и $E_к$ = 918 Вт/м^2 (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Зависимость коэффициента теплопотерь от количества остеклений при разных скоростях

V	U_L		
	N = 1	N = 2	N = 3
0	5,38	2,79	2,24
2	5,71	3,35	2,47
4	6,3	3,55	2,56
6	6,73	3,68	2,62
8	6,99	3,75	2,66

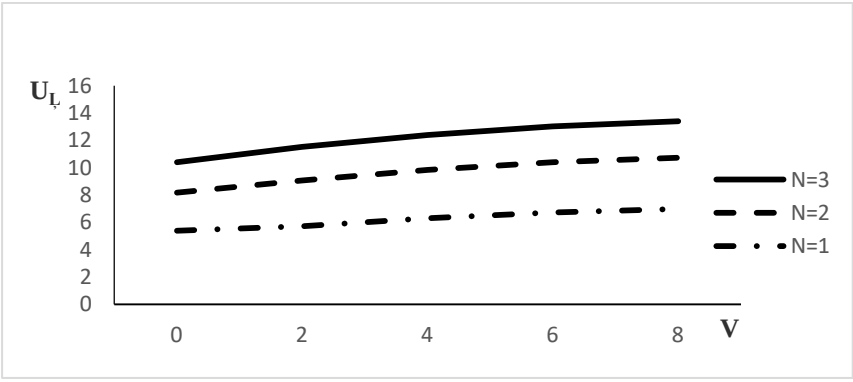


Рис. 1. Зависимость U_L от количества остеклений

Рассмотрим зависимость $T_{p,\,m}$ от количества остеклений при разных скоростях и $E_к$ = 918 Вт/м^2 (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Зависимость температуры поглощающей пластины от количества остеклений при разных скоростях

V	$T_{p,\,m}$		
	N = 1	N = 2	N = 3
0	362,44	367,66	370,1
2	360,1	366,83	369,59
4	358,53	366,29	369,31
6	357,38	365,9	369,12
8	356,71	365,69	369,01

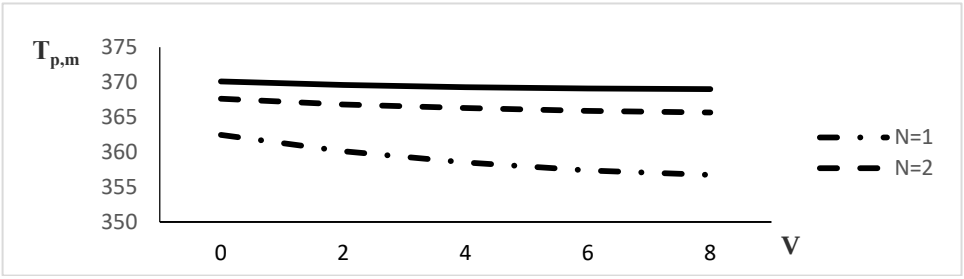


Рис. 2. Зависимость $T_{p,\,m}$ от количества остеклений

Рассмотрим зависимость U_L от диаметра при разных скоростях и $E_к$ = 918 Вт/м^2 (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3

Зависимость коэффициента теплопотерь от диаметра при разных скоростях

D	U_L		
	N=1	N=2	N=3
0,05	6,54	3,62	2,59
0,1	6,54	3,62	2,59
0,15	6,54	3,62	2,59
0,2	6,54	3,62	2,59

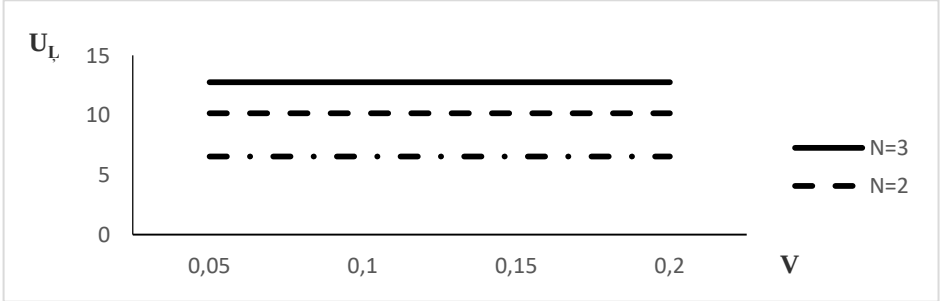


Рис. 3. Зависимость U_L от диаметра

Рассмотрим зависимость $T_{p,\,m}$ от мощности $E_к$, от количества остеклений (табл. 4, рис. 4).

Таблица 4

Зависимость температуры поглощающей пластины от мощности

$E_к$	$T_{p,\,m}$		
	$N = 1$	$N = 2$	$N = 3$
112,5	287,7	323,2	325,33
282,5	296,89	332,25	334,59
465	306,84	341,96	344,53
678	318,86	353,3	356,13
813	327,04	360,48	363,48
890	332,59	364,58	367,68
918	335,52	366,07	369,2
863	334,15	363,15	366,21
717,5	328,62	355,4	358,28
465,5	317,32	341,9	344,55
295	309,77	332,91	335,27
144	302,81	324,88	327,04

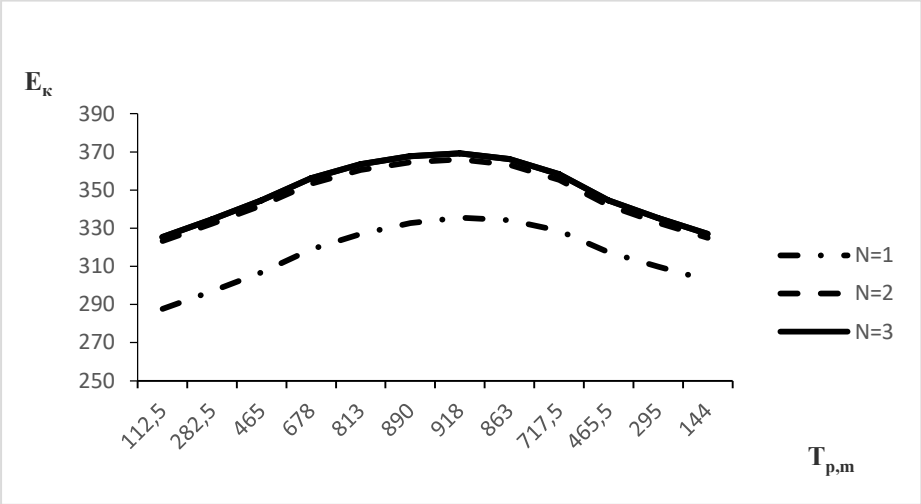


Рис. 4. Зависимость температуры поглощающей пластины от мощности

Обработка данных ЭВМ показала, что оптимальное число покрытий одно, расстояние между трубками в коллекторе — 0,12 м, диаметр труб коллектора — 0,012 м, число труб коллектора — 6.

На основании полученных данных сделаны выводы об оптимальном количестве покрытий [8]. Предложено соотношение, позволяющее определить число покрытий в зависимости от температуры окружающей среды. Анализ расчетных данных показал, что существует точка перегиба T^*, которая регламентирует число покрытий и температуру воды на выходе из коллектора. Увеличение числа труб в коллекторе повышает его эффективность до определенного предела, а затем влияние незначительно [9—13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Торгашина С. Н.* Анализ эффективности работы солнечных водонагревательных систем для г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. : Технические науки. 2005. Вып. 5(16). С. 53—56.

2. *Даффи Дж. А., Бекман У. А.* Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Пер. с англ. М. : Мир, 1971. 420 с.

3. *Будников И. В., Сафронов Б. А.* Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии : учеб. пособие. 2000. 180 с.

4. *Todorovic B., Meier A.* Energy and Buildings. 2020. 256 p.

5. *Denton J. C., Martinez-Val J. M.* Energy Conversion and Management. 2020. 252 p.

6. *Lund H.* Energy. 2021. 239 p.

7. *Shogren J. F., Smulders S.* Resource and Energy Economics. 2021. 66 p.

8. *Рассел Дж.* Солнечная энергетика. М. : VSD, 2012. 208 с.

9. *Челяев В. Ф.* Солнечная энергетика — энергетика будущего // Энергия: экономика, техника, экология. 2008. № 10.

10. *Андреев С. В.* Солнечные электростанции. М. : Наука, 2002.

11. *Харченко Н. В.* Индивидуальные солнечные установки. М. : Энергоатомиздат, 1991.

12. *Klein M. T.* Energy & Fuels. 2021. 35 p.

13. Fuel and Energy Abstracts / F. J. L. Bindon, E. M. Goodger, R. G. Jenkins, A. Sanyal, A. Williams. 2021. 63 p.

© Торгашина С. Н., Гадаборшева Т. Б., Косовцев В. Д., Чорнобай Е. А., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Торгашина С. Н., Гадаборшева Т. Б., Косовцев В. Д., Чорнобай Е. А. Математическая модель процесса теплообмена в солнечной системе теплоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 192—200.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Гадаборшева Тамара Бимбулатовна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Косовцев Вадим Дмитриевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Vadim.kosovvv@mail.ru

Чорнобай Ева Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; evakoroleva13@yandex.ru

Svetlana N. Torgashina, Tamara B. Gadaborsheva, Vadim D. Kosovtsev, Eva A. Chornobay

Volgograd State Technical University

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT EXCHANGE PROCESS IN SOLAR HEAT SUPPLY SYSTEM

According to the authors of the article, solar radiation comes to the surface of the Earth unevenly, and its transformation in the process of use is associated with significant costs. Methods for calculating solar heating systems differ in various degrees of complexity and reliability. Engineering practice often uses approximate calculation methods. The purpose of the solar heat supply system

calculation is to determine its thermal performance, the area of the collector, the characteristics of the thermal accumulator, the flow rate of the coolant in the collector and its orientation. Despite the mono-shape of the design of solar collectors, the common elements of each of them are a transparent coating, a heat receiving panel, heat insulation, and a receiver housing.

K e y w o r d s: temperature of absorbing plate, degree of blackness of plate, coefficient of thermal conductivity, temperature of liquid at inlet, temperature of liquid at outlet, coefficient of convective heat removalchi, value of useful energy.

For citation:

Torgashina S. N., Gadaborsheva T. B., Kosovtsev V. D., Chornobay E. A. [Mathematical model of heat exchange process in solar heat supply 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], 2021, iss. 4, pp. 192—200.

About authors:

Svetlana N. Torgashina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Tamara B. Gadaborsheva — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Vadim D. Kosovtsev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Vadim.kosovvv@mail.ru

Eva A. Chornobay — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; evakoroleva13@yandex.ru

УДК 628.35

А. В. Москвичева[а], А. Г. Тимофеев[а], Е. В. Федулова[а], Д. В. Щитов[б], Н. Г. Вурдова[в], О. Н. Вольская[а]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
[в] АО «НПК Медиана-Фильтр»

СНИЖЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕЗУЛЬТАТЕ БИООБРАСТАНИЯ

Водоприемные окна с сороудерживающими решетками, самотечные, всасывающие и напорные трубопроводы на водозаборах (особенно на зарегулированных источниках) подвержены внутреннему обрастанию гидробионтами, из которых наибольший вред приносят моллюски дрейссены. Биообрастание решеток оголовков ВЗС приводит к неизбежным осложнениям при эксплуатации сооружения: увеличению затрат, снижению качества очищаемой воды (более чем на 40 %), критическим потерям напора во всасывающей системе водозабора, угрозе остановки насосных станций, увеличению затрат на их эксплуатацию. В системе водоснабжения личинки дрейссены редко перемещаются самостоятельно, в основном — под влиянием потока воды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: биообрастание, очистка, дрейссены, гидробионты, хлорирование, хлораторные установки, дезинфекция.

Поселения дрейссены концентрируются на подводных частях железобетонных сооружений насосных станций, облицовке водоприемных ковшей, на оголовках во всасывающих трубопроводах, на решетках и сетках, в напорных водоводах с насосных станций.

Отложения дрейссены на внутренних стенках водоводов достигает 6...9 см, а масса обрастаний — до 8 кг/м^2 [1]. При этом обрастании значительно возрастает сопротивление трубопроводов, и, как следствие, возникают дополнительные расходы электроэнергии на подачу воды. Поэтому борьбу с дрейссеной на существующих водозаборах важно рассматривать не только как средство обеспечения бесперебойного и надежного водоснабжения, но и как меру значительной экономии электроэнергии.

Малые личинки дрейссены могут проникать не только через сетки и микрофильтры, но и через песчаные (скорые и даже медленные) фильтры, осложняя таким образом технологию очистки воды. Можно увидеть, как важно предотвратить попадание моллюсков в оголовок водозаборных сооружений.

Трудности в работе ВЗС по причине биообрастания были отмечены на водопроводах многих городов: Москвы, Ростова-на-Дону, Днепропетровска, Донецка, Волгограда, Калининграда, Самары и др. Обрастания зачастую уменьшали на треть диаметр трубопроводов, а из зарубежной практики зафиксированы факты полной закупорки трубопроводов дрейссеной.

Борьба с гидробионтами на ВЗС дает удвоенный положительный эффект: сохранение пропускной способности ВЗС и, следовательно, предотвращение значительного расхода электроэнергии при одновременной бесперебойности подачи; улучшение качества воды, поступающей далее на водоочистные

сооружения, и, следовательно, сокращение расходов на эксплуатацию, связанных с ее очисткой. Наиболее важное значение в борьбе с биообрастанием имеют предупредительные меры. Возможно предотвратить обрастание дрейссены при заборе воды, используя общие закономерности ее обитания и развития. Известно, что в большинстве озер преобладающее количество дрейссены расположено на глубине 4...14 и 11...21 м, в реках бассейна Волги — на глубине 1...8 м. Зимой при температуре 4...7 °С размножение ракушек не наблюдается. В крупных каналах, например в Северо-Крымском, личинки дрейссены в основном находятся в придонном слое. Массовое размножение дрейссены происходит при прогреве воды до 15 °С, а самый лучший рост и развитие — при температуре 20...26 °С. В южных областях России в динамике численности личинок моллюсков можно выделить два пика, которые приходятся на первую декаду июля и третью декаду августа. Продолжительность жизни дрейссены 4—6 лет. Размещая оголовки ВЗС на разных глубинах и перерабатывая их работу по сезонам года, можно минимизировать попадание дрейссены в водоприемные устройства. Доступным и эффективным средством предупреждения обрастания можно назвать предварительное хлорирование воды с пуском хлора перед водоприемными отверстиями. Дозы хлора устанавливаются в зависимости от видов гидробионтов, преобладающих в той или иной географической зоне. Обрастание водозаборных сооружений, как показывает практика, предотвращается уже при остаточном содержании хлора в воде до 0,4 мг/л [2]. Необходимо отметить, что предварительное хлорирование воды на ВЗС может иметь многоцелевое назначение: борьба с гидробионтами, улучшение качества воды, защита рыбы.

Когда предотвратить попадание и развитие дрейссены в ВЗС не получается, принимаются меры по ее удалению. В таком случае применительно к ВЗС хозяйственно-питьевого водоснабжения хлорирование воды пока остается наиболее простым и доступным средством. Хлорирование с определенной периодичностью обеспечивает отмирание моллюсков на определенной стадии их развития, потерю связи с предметами и следующее далее удаление из системы смывом. Проводят это мероприятие в теплое время года в периоды наибольшего развития дрейссены, не допуская вырастания моллюска более 1...4 мм (практически один-два раза в год). Личинки дрейссены погибают при воздействии на них в течение 7…9 ч дозы хлора 0,4...1,4 мг/л. Радикальное действие, как показывает опыт различных водопроводных станций Москвы, достигается при дозе хлора до 4 мг/л и продолжительности воздействия не менее 6 сут. Хлор вводят перед водоприемными окнами в 45…65 см от сороудерживающих решеток. Содержание хлора после насосов I подъема должно быть около 3 мг/л. Однако при этом должны быть приняты определенные меры предосторожности, предотвращающие попадание хлора в водный источник и отравление рыб. При циклической подаче хлора отмирающая масса дрейссены в значительном количестве попадает в водоприемные камеры насосных станций I подъема и на очистные сооружения, засоряя прежде всего распределительные системы камер хлопьеобразования и провоцируя трудности в водоснабжении. Опыт московского водопровода доказывает правильность постоянного хлорирования воды на протяжении теплого времени года (третья часть мая — начало октября) дозами хлора 2...6 мг/л. Если такое невозможно, то рекомендуется применять периодическое хлорирование.

Хлорирование как средство борьбы с биообрастанием наиболее полезно сочетать с общесанитарной обработкой (дезинфекцией) воды, для чего на ВЗС монтируют стационарные хлораторные установки. Если же санитарными нормами не предусматривается предварительное хлорирование воды, для предотвращения обрастания целесообразно применять передвижные хлораторные установки [3].

Из известных способов борьбы с биообрастанием ВЗС применяют купоросование воды, нанесение на поверхность сооружений специальных красок и других покрытий и пр. Однако далеко не все из них применимы в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. На ряде ВЗС, особенно на Волге, при угрожающем зарастании сороудерживающих решеток ракушкой водолазы очищают их скребками или заменяют сами решетки.

Для ликвидации дрейссены из трубопроводов и водоводов используют также общеизвестные методы и средства, применимые в эксплуатации водопроводных сетей. Опыт эксплуатации подтверждает, что негативное действие дрейссены на ВЗС нельзя устранить каким-либо одним методом, в тех или иных условиях требуется проверка эксплуатацией комплексных мер: хлорирование, микрофильтрование, покраска конструкций, механическая прочистка и др. [4].

В зависимости от характера биообрастания применяют разнообразные способы борьбы с ними.

Для борьбы с бактериальным обрастанием в системах оборотного водоснабжения наиболее часто применяют периодическое хлорирование оборотной воды. Необходимая доза хлора и период обработки определяются экспериментально, по хлорпоглощаемости и интенсивности развития биообрастания соответственно. Хлор добавляют в воду без выключения системы из работы. В настоящее время для борьбы с дрейссеной разрабатываются и применяются термические и химические методы, которые максимально эффективны в начальный период ее развития [5].

К химическим методам относятся хлорирование и купоросование воды. Реагенты вводят непосредственно перед ВЗС. Обработка воды осуществляется в период интенсивного размножения моллюсков в теплое время года. Дозы реагентов определяются экспериментально и составляют обычно 3…11 мг/л для хлора и 2…5 мг/л (по иону меди) для медного купороса.

Хлорирование производят постоянно с мая по октябрь, если вода имеет высокую хлорпоглощаемость. В ином случае достаточно производить хлорирование всего лишь дважды: весной и осенью, каждый раз в течение 9—11 дней. Купоросование аналогично проводят с мая по октябрь один раз в два дня, каждый раз в течение 1 ч [6].

Обработку воды медным купоросом используют и для борьбы с уже сформировавшимся биообрастанием в водоводах речной воды. Для этого их заливают водой с концентрацией меди 5 мг/л и выдерживают в течение 5 сут. При этой обработке моллюски погибают практически полностью, сами отрываются от поверхности трубопровода и могут быть устранены из него путем промывки.

Термический способ борьбы с моллюсками основан на том, что личинки и взрослые особи дрейссены погибают при температуре выше 31 °С. По экспериментальным данным, воздействие на обросшую поверхность водой с

температурой 39…46 °С в течение 4…14 мин приводит к гибели дрейссены. Спустя 2…25 ч обработанная поверхность полностью освобождается от обрастания [2].

Для предупреждения развития биообрастания применяется покрытие поверхностей специальными красками или лаками.

Среди известных методов борьбы с биологическими обрастаниями, кроме предупредительных мероприятий, значительное место занимает химическая защита, основанная на применении дезинфектантов, оказывающих губительное воздействие на микрофлору питьевой воды, или химических соединений, препятствующих «прицеплению» клеток микроорганизмов к поверхностям оборудования системы водоснабжения [7].

Самым распространенным методом борьбы с биообрастанием является обработка воды химическими соединениями, инициирующим гибель микроорганизмов, — биоцидами. Наиболее эффективный биоцид — газообразный хлор; также применяют гипохлориты, хлорпроизводные фенола, соли меди, ртутьорганические соединения. Но применение химических методов борьбы с биологическим обрастанием имеет ряд существенных недостатков [8]. Во-первых, любой биоцид представляет собой токсичное вещество, и сброс вод в природные водоемы сопровождается значительным экологическим риском. Во-вторых, биоциды всего лишь уничтожают микроорганизмы, находящиеся в воде, но не способны очистить поверхности пленки от уже существующих биологических отложений. Поэтому системы водоснабжения эксплуатируются, к сожалению, без дополнительной обработки, а при достижении определенного уровня загрязненности система приостанавливает свою работу для проведения либо химической промывки, либо демонтажа с механической очисткой. Обе процедуры требуют значительных материальных затрат, проводятся на выведенном из строя оборудовании и часто приводят к дополнительным его повреждениям [9].

Коррозия оборудования, биообрастания и солевые отложения, возникающие при эксплуатации систем водоснабжения, приводят к неизбежным осложнениям в технологическом процессе, увеличению затрат, повышенному потреблению водных ресурсов, снижению качества товарной продукции [10]. Возникающие проблемы — многофакторные, требующие комплексного решения. Один из вариантов такого решения — это использование комплекса взаимосовместимых реагентов, включающих ингибиторы коррозии, биокоррозии, солеотложения.

Применение ингибиторов стабилизирует производственный процесс, сокращает простои, связанные с ремонтом оборудования, позволяет использовать более дешевые конструкционные материалы [11].

В последние годы в мировой практике комплексное решение проблем обеспечения высокой эффективности систем водоворота, снижения стоимости обработки, а также исключения токсичных продуктов из состава используемых реагентов достигается применением ингибиторов коррозии на основе фосфатов и модифицирующих добавок.

Важнейшими требованиями к современным ингибиторам коррозии являются не только высокие антикоррозионные свойства, но и экологическая

безопасность используемых реагентов, что связано с ужесточившимися требованиями к качеству сточных вод и санитарно-гигиеническим условиям труда на производствах [12].

Эффективность работы промышленных предприятий также значительно снижается вследствие коррозии оборудования и образования различного рода отложений и биологических обрастаний в насосах и трубопроводах [5]. При наличии биообрастания в оборудовании происходит следующее:

снижается надежность работы предприятия (на трубопроводы приходится в среднем 22 % от оборудования предприятий);

уменьшается производительность насосов;

увеличивается расход финансов предприятия на замену вышедшего из строя оборудования.

Единый взгляд на наиболее распространенные формы железобактерий в системах водоснабжения отсутствует. Одни исследователи указывают на Gallionella, другие — на нитчатые организмы Crenothrix, Leptothrix, третьи — на Siderocapsa (Arthrobacter). Однако данные расхождения можно связать с химическим составом воды и условиями эксплуатации систем водоснабжения [13].

Проведенный анализ позволил сделать вывод о существующей проблеме и способе ее решения через комплексную защиту от биообрастания решеток оголовка водозаборных сооружений с использованием анодного электрохимического воздействия, путем перевода металлической поверхности оголовка в пассивное состояние, а также подтвердил целесообразность данного способа и его научно-экспериментальное решение [14].

Выводы:

1. На основании вышеизложенной информации можно сделать вывод о том, что качество воды многих водных объектов в настоящее время ухудшается и одной из причин является поступление высоких концентраций ионов тяжелых металлов и других техногенных загрязнений.

2. Существующие технологии защиты от биообрастания не обеспечивают необходимую работоспособность и долговечность оголовков ВЗС.

3. На сегодняшний день в мировой и отечественной практике защиты от биообрастания решеток оголовка ВЗС отсутствуют универсальные методы; данная задача требует выработки конкретного подхода для защиты решеток от биообрастания, в основе которого лежит предварительная комплексная техническая экспертиза.

4. Разработка и внедрение базовой методики защиты от биообрастания решеток оголовка ВЗС является актуальной задачей, которая позволит защитить новые и предотвратить аварийные ситуации на уже действующих ВЗС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алимов А. Ф.* Интенсивность обмена у пресноводных двустворчатых моллюсков // Экология. 1975. № 1.

2. *Алимов А. Ф.* Некоторые общие заодномерности процесса фильтрацели у двустворчатых моллюсков // Журн. общ. биол. 1969. Т. 30. № 5. С. 621—631.

3. *Алимов А. Ф.* Некоторые вопросы экологии пресноводных двустворчатаяатех моллюсков // Моллюски. Пути, методы и итоги изучения. Сб. 4. Л., 1971. С. 70—72.

4. Strategie pour 1'etude du vieillissement et roptimisation de la maintenance du reseau d'assainissement / K. Laffrechine, D. Breysse, Gat le Y., P. Bourgogne // Tech. Sci. Meth. 1999. No. 6. Pp. 61—63.

5. *Burstein G. T., Davies D. H.* Effect of anions on the behaviour, of scratched iron electrodes in aqueous solutions // Corros. Sci. 1980. Vol. 20. No. 10. Pp. 1143—1155.

6. *Beck T. R.* Techniques for studying initial film formation on newly generated surfaces of passivemetals // Electrochemical techniques for corrosion / Eds. R. Baboin, Ed. Houston. NACE, 1977. Pp. 27—34.

7. *Beck T. R.* Electrochemistry of freshly-generated titanium: surfaces. Rapid fracture experiments // Electrochim. Acta. 1973. Vol. 18. No. 11. Pp. 815—827.

8. *Hoar T. P., West J. M.* Mechano-chemical anodic dissolution // Nature. 1958. Vol. 181. No. 4. Pp. 835—841.

9. Вопросы технической гидробиологии и пути их решения в связи с защитой водоснабжения электростанций и заводов от биологического обрастания / И. П. Лубянов, Ю. М. Нороха, М. М. Боголюбова, А. К. Дыга // Вопросы гидробиологии : тез. докл. I съезда Всесоюз. гидробиол. о-ва. М. : Наука, 1965.

10. *Alevi A., Miller C. D., Wei R. P.* A technique for measuring the kinetics of electrochemical reactions with bare metal surfaces // Corrosion. 1987. Vol. 43. No. 4. Pp. 204—207.

11. *Крушель Г. Е.* Образование и предотвращение отложений в системе водоснабжения. М. — Л. : Госэнергоиздат, 1952.

12. *Кирпиченко М. Я., Михеев В. П., Штерн Е. П.* О борьбе с обрастаниями дрейссеной на гидроэлектростанциях // Электрические станции. 1962. № 5.

13. *Gordon A., Ford R.* The chemist's companion. New York, 1972. 541 p.

14. *Фрейман Л. И., Макаров В. А., Брыксин И. Е.* Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях в электрохимической защите. Л. : Химия, 1972. 240 с.

© Москвичева А. В., Тимофеев А. Г., Федулова Е. В., Щитов Д. В., Вурдова Н. Г., Вольская О. Н., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Снижение надежности сооружений систем водного хозяйства в результате биообрастания / А. В. Москвичева, А. Г. Тимофеев, Е. В. Федулова, Д. В. Щитов, Н. Г. Вурдова, О. Н. Вольская // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 201—207.

Об авторах:

Москвичева Анастасия Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Тимофеев Антон Георгиевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Федулова Екатерина Владимировна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; fedulova973@mail.ru

Щитов Дмитрий Викторович — канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительства, Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1; skfu.pgs@gmail.com

Вурдова Надежда Георгиевна — канд. техн. наук, доц., руководитель направления водоснабжения и водоотведения, АО «ГМС Нефтемаш». Российская Федерация, 625003, г. Тюмень, ул. Военная, 44; nadya_vurdova@mail.ru

Вольская Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olgavolska@mail.ru

Anastasia V. Moskvicheva[a], Anton G. Timofeev[a], Ekaterina V. Fedulova[a], Dmitrii V. Shchitov[b], Nadezhda G. Vurdova[c], Ol'ga N. Vol'skaya[a]

[a] Volgograd State Technical University

[b] Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk

[c] JSC "HMS Neftemash"

REDUCED RELIABILITY OF WATER MANAGEMENT SYSTEM STRUCTURES AS A RESULT OF BIOFOULING

Water intake windows with self-retaining grilles, gravity, suction and pressure pipelines at water intakes (especially at regulated sources) are subject to internal fouling with hydrobionts, of which the most harmful are the dreissen mollusks. Biofouling of the grilles of the VSS heads leads to inevitable complications during the operation of the facility: increased costs, reduced quality of the treated water (more than 40 %), critical pressure losses in the suction system of the intake, the threat of stopping pumping stations, increased costs for their operation. In the water supply system, dreissen larvae rarely move independently, but mainly under the influence of water flow.

K e y w o r d s: bio-circulation, purification, dreissens, hydrobionts, chlorination, chlorination plants, disinfection.

For citation:

Moskvicheva A. V., Timofeev A. G., Fedulova E. V., Shchitov D. V., Vurdova N. G., Vol'skaya O. N. [Reduced reliability of water management system structures as a result of biofouling]. *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], 2021, iss. 4, pp. 201—207.

About authors:

Anastasia V. Moskvicheva — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Anton G. Timofeev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Ekaterina V. Fedulova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; fedulova973@mail.ru

Dmitrii V. Shchitov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of Construction Department, Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina st., Stavropol, 355009, Russian Federation; skfu.pgs@gmail.com

Nadezhda G. Vurdova — Candidate of Engineering Sciences, JSC "HMS Neftemash". 44, Voennaya st., Tyumen, 625003, Russian Federation; nadya_vurdova@mail.ru

Ol'ga N. Vol'skaya — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olgavolska@mail.ru

УДК 628.35

Е. В. Москвичева[а], А. Г. Тимофеев[а], Е. В. Федулова[а], Ю. Ю. Юрьев[а], Н. Г. Вурдова[б], П. А. Сидякин[в], О. Н. Вольская[а]

[а] Волгоградский государственный технический университет
[б] АО «НПК МЕДИАНА-ФИЛЬТР»
[в] Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета

СПОСОБ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ОТ БИООБРАСТАНИЯ

Для строительства оголовков применяют малоуглеродистые и низколегированные стали. Кроме железа, они содержат углерод (до 2 %), легирующие примеси (хром, никель, марганец, медь) и примеси, которые невозможно полностью удалить в металлургическом процессе (сера, фосфор, кислород, азот, водород). Неоднородный состав сталей содействует возникновению коррозионных пар в соответствующей среде. Биообрастание металла может быть причиной не только загрязнений, снижения производительности разнообразного оборудования на производствах, но и серьезных аварий или поломок вследствие разрушения металлических конструкций. Поэтому нельзя относиться к биообрастанию металлов как к незначительному явлению.

К л ю ч е в ы е с л о в а: биообрастание, вибрационные процессы, материальные потери, металлургическая промышленность, коррозия, противокоррозионная защита.

Биообрастание не только является причиной загрязнений и аварий на производстве, но и наносит отрицательный экономический эффект. Так, например, в среднем 2 % от общей поверхности стали ежегодно заменяется новой, поскольку эти 2 % изнашиваются от неправильной защиты от биообрастания [1].

Общепризнанный международный стандарт ISO содержит пункт 8044, в котором коррозия определяется как физико-химическое или только химическое взаимодействие, где с одной стороны выступает металл (или сплав металлов), а с другой — среда; конечно, коррозией это считается только в том случае, если это взаимодействие приводит к ухудшению свойств металла (сплава металлов) и его структуры, а также внешней среды и других связанных объектов или субъектов [2].

Биообрастание является одной из ведущих проблем современной промышленности, множество научных разработок связанно именно с предотвращением биообрастания [3].

В Российской Федерации общая протяженность подземных нефте-, водо- и газопроводов составляет около 17 млн км, при этом из-за постоянных интенсивных волновых (колебаний давления, гидроударов) и вибрационных процессов участки этих коммуникаций приходится регулярно ремонтировать и полностью заменять. Весьма актуальны вопросы защиты от коррозии для нефтяной, нефтегазодобывающей, перерабатывающей и транспортирующей отраслей вследствие металлоемкости резервуаров хранения нефтепродуктов и прочих сооружений, наличия здесь агрессивных сред и жестких условий эксплуатации металлоконструкций. Убытки, вызываемые гидроударами и коррозией, составляли для Минтопэнерго бывшего СССР несколько сотен миллиардов долларов и около 50 тыс. т черных металлов в год [4].

При общей динамике аварийности, по оценкам экспертов, причинами разрыва трубопроводов являются: гидроудары, перепады давления и вибра-

ции — 60 %, коррозионные процессы — 25 %, природные явления и форс-мажорные обстоятельства — 15 %.

Биообрастание металлов наносит большой экономический вред. Человечество несет огромные материальные потери в результате биообрастания трубопроводов и технологического оборудования [5]. С учетом возможной коррозии приходится завышать прочность этих изделий, а значит, увеличивать расход металла, что приводит к дополнительным экономическим затратам. Биообрастание приводит к простоям производства из-за замены вышедшего из строя оборудования, к потерям сырья и продукции (воды), энергетическим затратам для преодоления дополнительных сопротивлений, вызванных уменьшением проходных сечений трубопроводов из-за отложения ржавчины и других продуктов биообрастания [6]. Биообрастание также приводит к загрязнению продукции, а значит, и к снижению ее качества. Затраты на возмещение потерь, связанных с биообрастанием, исчисляются миллиардами рублей в год. Специалисты подсчитали, что в развитых капиталистических странах стоимость потерь, связанных с коррозией и биообрастанием, составляет 3…4 % валового национального дохода [7].

За долгий период интенсивной работы металлургической промышленности выплавлено и переведено в изделия огромное количество металла. Этот металл постоянно коррозирует. Сложилась такая ситуация, когда потери металла от коррозии в мире уже составляют около 30 % от его годового производства. Считается, что 10 % прокорродировавшего металла теряется (в основном в виде ржавчины) безвозвратно. Возможно, в будущем установится баланс, при котором от коррозии будет теряться примерно столько же металла, сколько его будет выплавляться вновь. Из всего сказанного следует, что важнейшей проблемой является изыскание новых и совершенствование старых способов защиты от коррозии и биообрастания [4].

Различают два вида потерь: прямые и косвенные. Прямые — безвозвратные потери металла, стоимость замены оборудования и металлоконструкций, расходы на противокоррозионную защиту.

Прямые потери включают добавочные расходы, связанные с использованием коррозионно-стойких металлов и сплавов вместо углеродистой стали, даже когда она обладает требуемыми механическими свойствами, но не имеет достаточной коррозионной устойчивости. Сюда относятся также стоимость нанесения защитных металлических покрытий, стоимость ингибиторов коррозии, затраты на кондиционирование воздуха складских помещений для хранения металлического оборудования [8].

Гораздо труднее поддаются подсчету косвенные потери, но даже по приближенной оценке они исчисляются миллионами долларов.

Косвенные потери — простой оборудования, снижение мощности, снижение качества продукции, расход металла на утолщения стенок и т. п.

Очевидно, что косвенные потери составляют существенную часть общих коррозионных потерь. Однако подсчет косвенных потерь представляет собой трудную задачу даже в рамках одной отрасли промышленности [9].

В ряде случаев потери вообще не могут быть выражены в денежных единицах. К ним относятся аварии, связанные со взрывами, приводящие к потере здоровья или гибели людей [10].

Разработка и практическое использование эффективных средств противокоррозионной защиты позволяет не только уменьшить потери металла и средств,

но и снизить металлоемкость конструкций и сооружений, увеличить их грузоподъемность, уменьшить расход топливо-энергетических ресурсов при строительстве и эксплуатации, увеличить эксплуатационный период и в целом уменьшить себестоимость и повысить рентабельность объектов техники [11].

Экономический и экологический ущерб, наносимый нашей планете коррозией и биообрастанием металлических изделий, оборудования и конструкций, неисчислим. В последние годы, например, только в Соединенных Штатах Америки ежегодные потери от коррозии и биообрастания составили 300 млрд долл., что соответствует 6 % национального дохода всей страны [12].

В Российской Федерации ежегодные потери металлов из-за их коррозии и биообрастания составляют до 12 % общей массы металлофонда, что соответствует утрате до 30 % ежегодно производимого металла. Кроме столь огромных связанных с коррозией прямых потерь, существуют еще большие косвенные потери. К ним относятся расходы, обусловленные потерей мощности металлического оборудования, его вынужденными простоями из-за аварий, а также расходы на ликвидацию последствий аварий, часто носящих характер экологических катастроф [13].

Как правило, металлическое изделие, пришедшее в негодность вследствие коррозионных разрушений и биообрастания, отправляют на переплавку. В этом случае общие потери будут включать безвозвратные потери металла, перешедшего в продукты коррозии, стоимость изготовления металлических изделий и косвенные потери. По статистическим данным, безвозвратные потери составляют 8…12 % от первоначальной массы металла. Стоимость изготовления металлических конструкций зачастую превосходит стоимость самого металла. К косвенным потерям относят расходы, связанные с отказом в работе металлического оборудования, с его простоями и ремонтом.

Наибольшие потери от коррозии и биообрастания несут топливно-энергетический комплекс (ТЭК), сельское хозяйство, химия и нефтехимия. Так, потери металла от коррозии составляют: в ТЭК — 30 %, химии и нефтехимии — 20 %, сельском хозяйстве — 15 %, металлообработке — 5 %. В настоящее время проблема коррозии усугубляется резким старением основного металлофонда, физическим и моральным износом, совершенно недостаточной степенью возобновляемости и реновации (реконструкции, ремонта) [14].

Таким образом, на основании вышеизложенного следует, что для нахождения путей практического решения тех или иных задач, возникающих в результате коррозионного разрушения различных металлических объектов, необходимо в первую очередь знание законов такого разрушения, т. е. теории коррозии металлов. Это требует рассмотрения общих вопросов, к которым, кроме механизма коррозии металлов, следует отнести такие разделы, как:

диагностика конструкций и оборудования потенциально опасных производств и объектов;

оценка прочности и остаточного ресурса эксплуатируемых конструкций и оборудования объектов повышенной опасности;

разработка ресурсосберегающих технологий сварки и смежных процессов для повышения надежности работы конструкций;

сертификация и нормирование как основа обеспечения качества оборудования;

экологические и социально-экономические проблемы обеспечения надежности эксплуатации потенциально опасных объектов.

Целевым назначением указанных направлений является изложение научных основ коррозии металлов и способов практического использования этих основ при выборе и реализации оптимальных путей противокоррозионной защиты металлических изделий и конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алимов А. Ф.* Общие основы учения о биологической продуктивности водоемов // Гидробиол. журн. 1988. Т. 24. № 3. С. 40—51.

2. *Вершинина Л. П.* Исследование кинетики и механизма электродных процессов методом непрерывного обновления поверхности металла под раствором // Новые методы исследования коррозии металлов / Под. ред. И. Л. Розенфельда. М. : Наука, 1973. С. 64.

3. Вопросы технической гидробиологии и пути их решения в связи с защитой водоснабжения электростанций и заводов от биологического обрастания / И. П. Лубянов, Ю. М. Нороха, М. М. Боголюбова, А. К. Дыга // Вопросы гидробиологии : тез. докл. I съезда Всесоюз. гидробиол. о-ва. М. : Наука, 1965.

4. *Lawlor A. J., Tipping E.* Metals in bulk deposition and surface waters at two upland locations in northern England // Environ. Pollut. 2003. Vol. 121. No. 2. Pp. 153—167.

5. *Dragic D. M., Mao C. S.* Anodic processes on an iron electrode in neutral electrolytes // Bull. Soc. chim. Bcograd (Гласник хем. Друштза Београд). 1982. Vol. 47. Pp. 649—659.

6. *Kuo H. C., Nobe K.* Electrodissolution Kinetics of Iron in Chloride Solutions // Journal of The Electrochemical Society. 1978. Vol. 1254. No. 6. Pp. 1118—1123.

7. Электрохимические и биологические аспекты ингибирования процессов коррозии металлов в агрессивных средах / И. С. Погребова, Л. М. Пуриш, И. А. Козлова и др. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2000. Т. 2. № 1. С. 479—481.

8. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыболовного пруда Бугач / М. И. Гладышев, И. В. Грибовская, Е. А. Иванова и др. // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 3. С. 320—328.

9. *Heusler K. E.* Der Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf das elektrochemische Verhalten des aktiven Eisens in sauren Lösungen Der Mechanismus der Reaktion $FeoFe_2^* + 2e$ // Z. Elektrochem. 1958. Nu. 5/6. Pp. 582—587.

10. *Bockris J. O. M., Drazic D., Desric A. R.* The electrode kinetics of the deposition and dissolution of iron // Elektrochim. Acta. 1961. Vol. 4. No. 2-4. S. 325—361.

11. *Флорианович Г. М., Лазоренко-Маневич Р. М.* Роль компонентов раствора в процессах активного растворения металлов // Итоги науки и техники. Сер. : Коррозия и защита от коррозии. 1990. Т. 16. С. 3—56.

12. *Kolotyrkin Ya. M., Lazorenko-Manevich R. M., Sokolova L. A.* Spectroscopic studies of water adsorption on iron group metals // Electroanlyt. Chem. 1987. Vol. 228. No. 2. Pp. 301—328.

13. Strategie pour 1'etude du vieillissement et roptimisation de la maintenance du reseau d'assainissement / K. Laffrechine, D. Breysse, Y. le Gat, P. Bourgogne // Tech. Sci. Meth. 1999. No. 6. Pp. 61—63.

14. *Колотыркин Я. М.* Влияние анеонов на кинетику растворения металлов // Успехи химии. 1962. Т. 31. № 3. С. 322—335.

© Москвичева Е. В., Тимофеев А. Г., Федулова Е. В., Юрьев Ю. Ю., Вурдова Н. Г., Сидякин П. А., Вольская О. Н., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Способ защиты металлических изделий от биообрастания / Е. В. Москвичева, А. Г. Тимофеев, Е. В. Федулова, Ю. Ю. Юрьев, Н. Г. Вурдова, П. А. Сидякин, О. Н. Вольская // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 208—212.

Об авторах:

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, проф., проф. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Тимофеев Антон Георгиевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Федулова Екатерина Владимировна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; fedulova973@mail.ru

Юрьев Юрий Юрьевич — канд. техн. наук, доц., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Вурдова Надежда Георгиевна — канд. техн. наук, доц., руководитель направления водоснабжения и водоотведения, АО «ГМС Нефтемаш». Российская Федерация, 625003, г. Тюмень, ул. Военная, 44; nadya_vurdova@mail.ru

Сидякин Павел Алексеевич — канд. техн. наук, доц., проф. каф. строительства, Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1; sidyakin_74@mail.ru

Вольская Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olgavolska@mail.ru

Elena V. Moskvicheva[a], Anton G. Timofeev[a], Ekaterina V. Fedulova[a], Yurii Yu. Yur'ev[a], Nadezhda G. Vurdova[b], Pavel A. Sidyakin[c], Ol'ga N. Vol'skaya[a]

[a] Volgograd State Technical University
[b] JSC "HMS Neftemash"
[c] Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk

METHOD OF PROTECTING METAL PRODUCTS FROM BIOFOULING

Low-carbon and low-alloy steels are used for the construction of the heads. In addition to iron, they contain carbon (up to 2 %), alloying impurities (chromium, nickel, and manganese, copper) and impurities that cannot be completely removed in the metallurgical process (sulfur, phosphorus, oxygen, nitrogen, hydrogen). The heterogeneous composition of steels suits the occurrence of corrosion pairs in the appropriate medium. Bio-processing of metal can cause not only pollution, a decrease in the productivity of various equipment in production, but also serious accidents or breakdowns, the cause of which is the destruction of metal structures. Therefore, it is impossible to treat the biofouling of metals as an insignificant phenomenon.

K e y w o r d s: biofouling, vibration processes, material losses, metallurgical industry, corrosion, anticorrosive protection.

For citation:

Moskvicheva E. V., Timofeev A. G., Fedulova E. V., Yur'ev Yu.Yu., Vurdova N. G., Sidyakin P. A., Vol'skaya O. N. [Method of protecting metal products from biofouling]. *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], 2021, iss. 4, pp. 208—212.

About authors:

Elena V. Moskvicheva — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Anton G. Timofeev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Ekaterina V. Fedulova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; fedulova973@mail.ru

Yurii Yu. Yur'ev — Canidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Nadezhda G. Vurdova — Candidate of Engineering Sciences, JSC "HMS Neftemash". 44, Voennaya st., Tyumen, 625003, Russian Federation; nadya_vurdova@mail.ru

Pavel A. Sidyakin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Construction Department, Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina st., Stavropol, 355009, Russian Federation; sidyakin_74@mail.ru

Ol'ga N. Vol'skaya — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olgavolska@mail.ru

УДК 544.6:628.345

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

Волгоградский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД ОТ ПРИМЕСЕЙ ЦИНКА

Проведены исследования метода электрокоагуляции с применением периодического тока для очистки промывных сточных вод гальванических производств от примесей цинка.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрокоагуляция, очистка сточных вод, электролиты цинкования.

Важнейшей задачей нашего времени является сохранение природных ресурсов и защита окружающей среды от техногенных загрязнений, количество которых растет из года в год.

Гальванические производства имеют специфические особенности в использовании воды, свои источники ее загрязнения.

Учитывая современную тенденцию контроля экологического воздействия промышленных стоков на окружающую среду, становится необходимым исследовать технологические методы очистки загрязненной воды, позволяющие свести к минимуму их вредное воздействие.

Одним из методов очистки воды является электрокоагуляционный метод [1, 2]. Метод получил широкое применение при очистке сточных вод гальванических производств. С помощью электрокоагуляции можно достаточно эффективно проводить обезвреживание сточных вод до 90…95 %, а также утилизировать ценные компоненты, возвращая их в технологический процесс и применяя для нужд других отраслей промышленности [3, 4]. Данный метод позволяет исключить расход реагентов, использовать воду после очистки далее в обороте.

Несмотря на очевидные преимущества [5], метод электрокоагуляции нуждается в интенсификации: необходим поиск эффективных мер по снижению пассивации анодов, зашламления электродов, а также поддержанию в межэлектродном объеме условий, предотвращающих образование мало- и нерастворимых соединений [6].

Перспективным направлением в разработке электрокоагуляторов является использование для питания электрокоагуляторов импульсного тока [7—9].

Традиционно электрокоагуляционной очистке подвергаются стоки гальванических производств после цинкования при концентрации менее 100 мг/л. Это требует больших затрат воды и электроэнергии. При использовании импульсного тока [10, 11] получается порошкообразный осадок цинка в растворе, с концентрацией ионов цинка 1…4 г/л. Исходя из этого, было проведено изучение возможности получения катодного осадка цинка из ванн улавливания, с концентрацией по ионам цинка 1…10 г/л. В результате можно получать дисперсный цинк, экономя промывную воду, и успешно очищать сточные воды от примесей и дисперсности.

Цинковые порошки находят широкое применение в промышленности для изготовления активной массы пластин аккумуляторов, воздушно-цинковых

элементов генераторов [12]. Из порошков цинка легко получают растворимые аноды любых форм и параметров. Растворимые аноды используются при процессах электроосаждения металлов [13]. Порошки цинка успешно применяются в качестве наполнителей протекторных грунтов, которые обладают хорошими защитными свойствами. Губчатый цинк, осажденный на металлической поверхности и покрытый лаком, предохраняет металлические изделия от коррозии.

Дисперсный цинк применяется в химической промышленности в качестве эффективного восстановителя в электрометаллургии для цементации и извлечения из растворов более благородных металлов [14].

Изучены возможности получения катодного осадка цинка непосредственно из ванны улавливания, где концентрация по ионам цинка достигает 10 г/л. В качестве модельного раствора использовался раствор $1{,}5ZnSO_4 \times 7H_2O + 5{,}0(NH_4)_2SO_4$.

При электроосаждении дисперсного цинка из электролита, имитирующего состав усредненной промывной ванны улавливания после цинкования в сульфатно-аммиачном электролите [15], установлено (рис. 1), что при увеличении плотности тока выход по току компактного металла, как правило, уменьшается, что связано с увеличением выхода по току водорода [16].

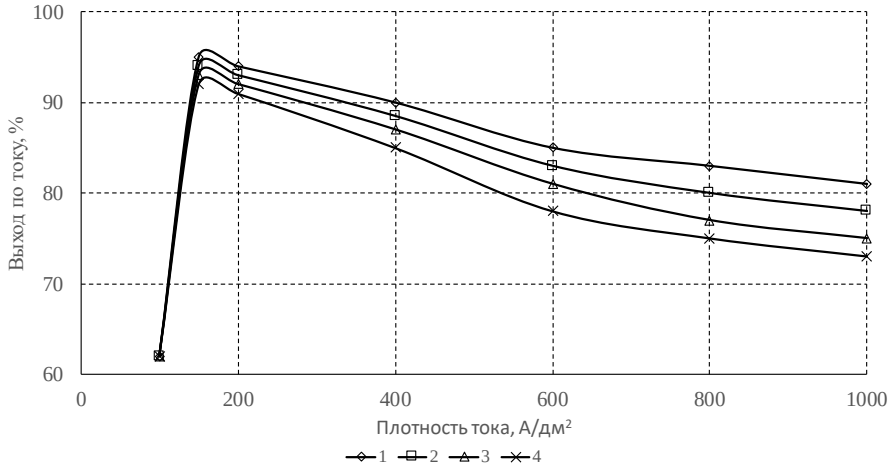


Рис. 1. Зависимость выхода по току дисперсного цинка от плотности тока из раствора состава $1{,}5ZnSO_4 \times 7H_2O$, $5{,}0(NH_4)_2SO_4$. Температура электролита 40 °С. Формы тока: *1* — импульсный ток $\tau_{пр} = 10^{-3}$ с; *2* — пульсирующий ток $\tau_п = T / 2$; *3* — периодический ток $I_{пр} / I_{обр} = 2$; *4* — постоянный ток

Выход по току компактного, дисперсного металла и водорода зависит от формы и параметров тока.

При получении дисперсного цинка из промывных вод были использованы как постоянные, так и периодические токи. При всех изученных формах и параметрах периодического тока при одних и тех же плотностях тока выход по току дисперсного цинка несколько выше, чем при использовании постоянного тока (рис. 2). При переходе к импульсному току с длительностью импульса меньше, чем однополупериодный, наблюдается большее увеличение выхода по току дисперсного металла вследствие выравнивания концентрации

разряжающихся ионов у поверхности катода во время паузы. Уменьшение выхода по току дисперсного металла происходит при увеличении частоты импульсов. Это может быть связано с частичным растворением электроосажденного металла во время обратного импульса [17]. При осаждении дисперсного цинка периодическим током различных форм и параметров (рис. 3) минимальное значение потенциала за период при плотностях тока выше 1 А/дм^2 не заходит за его равновесное значение. Следовательно, растворение электроосажденного металла маловероятно.

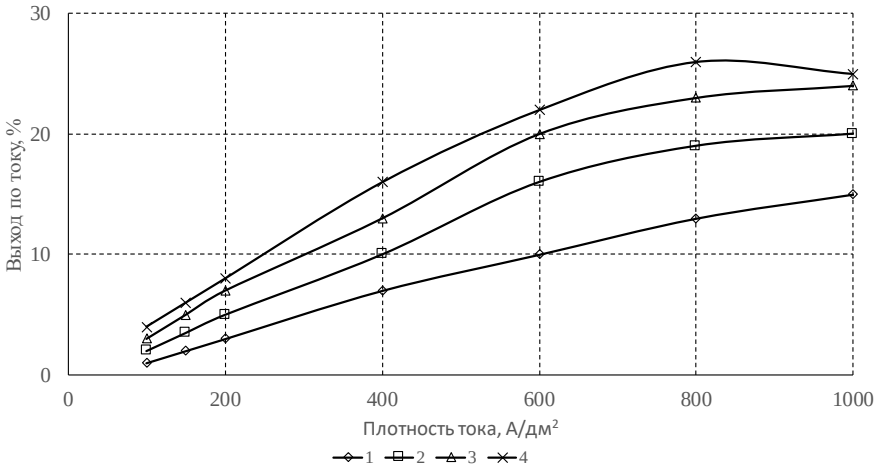


Рис. 2. Зависимость выхода по току водорода от плотности тока из раствора состава 1,5$ZnSO_4 \times 7H_2O$, 5,0$(NH_4)_2SO_4$. Температура электролита 40 °С; pH = 5. Формы тока: *1* — импульсный ток $\tau_{пр} = 10^{-3}$ с; *2* — пульсирующий ток $\tau_п = T / 2$; *3* — периодический ток $I_{пр} / I_{обр} = 2$; *4* — постоянный ток

Однако, несмотря на это, выход по току металла при использовании периодического тока с обратным импульсом с ($I_{пр} / I_{обр} = 2$) ниже, чем при остальных формах периодического тока, что связано с увеличением амплитудной плотности тока прямых импульсов при постоянной средней плотности.

При плотностях тока ниже 1 А/дм^2 при ($I_{пр} / I_{обр} = 2$) наблюдается растворение катодного осадка (см. рис. 1).

Максимальный выход по току дисперсного цинка при всех формах тока наблюдается при плотности тока, равной 1,5 А/дм^2. Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к уменьшению выхода по току цинкового порошка вследствие увеличения выхода по току водорода (см. рис. 2).

Выход по току водорода, по сравнению с постоянным током, при использовании импульсного тока с длительностью импульса 10^{-3} с минимален вследствие увеличения концентрации разряжающихся ионов цинка во время паузы, приводящего к возрастанию выхода по току металла.

Количество компактного металла меняется в зависимости от плотности и формы тока. При малых плотностях тока, например при 0,5 А/дм^2, процентное содержание компактного цинка максимально и изменяется в зависимости от формы тока от 96,71 % до 90,0 % (табл.). При увеличении плотности тока до 10 А/дм^2 процентное содержание компактного металла уменьшается, достигая 1,40…0,49 %.

Зависимость выхода по току компактного металла от форм тока по сравнению с постоянным током при одних и тех же плотностях тока аналогична зависимости выхода по току дисперсного металла (см. табл.).

Наибольшее значение выхода по току компактного металла наблюдается при импульсном электролизе с длительностью импульса 10^{-3} с, что связано с увеличением концентрации ионов металла во время паузы, а наименьшее — при форме тока с обратным импульсом $I_{пр} / I_{обр} = 2$.

Таким образом, выход по току дисперсного цинка зависит от форм и параметров периодического тока. Применение нестационарных электрических режимов при прочих равновесных условиях позволяет изменять выход по току компактного, дисперсного металла и водорода.

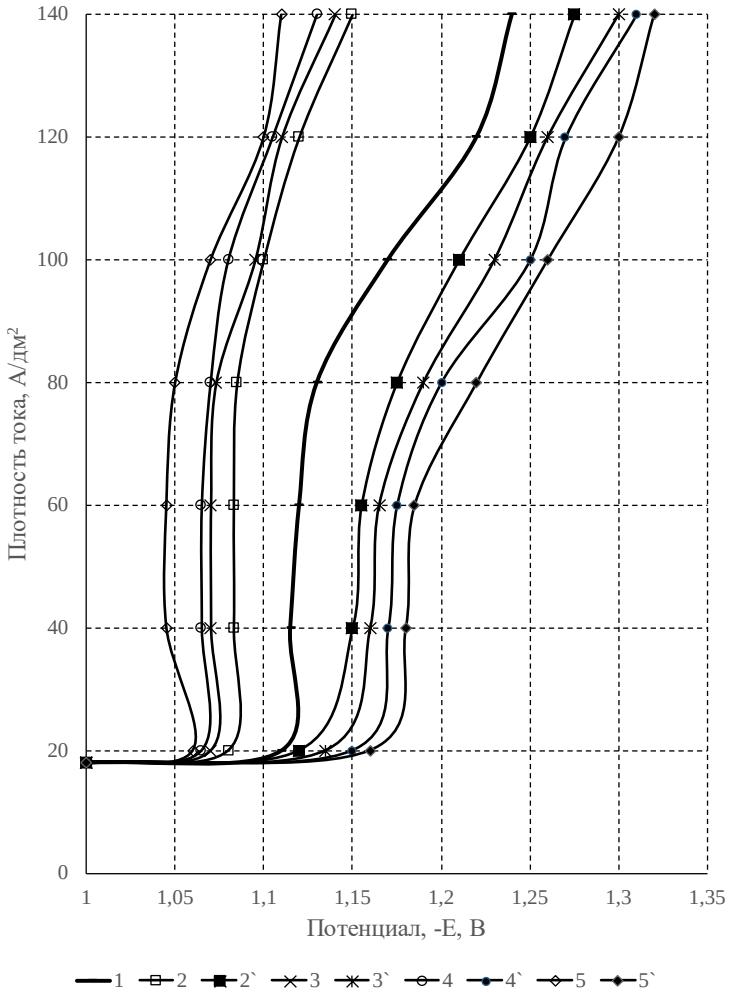


Рис. 3. Зависимость минимального E_{min} и максимального E_{max} значений потенциала от средней за период плотности тока при электроосаждении цинка из раствора состава $11{,}5ZnSO_4 \times 7H_2O$, $5{,}0(NH_4)_2SO_4$. Температура электролита 40 °С; pH = 5. Формы тока: *1* — постоянный ток; *2* и *2`* — пульсирующий ток $\tau_п = T / 2$; *3* и *3`* — пульсирующий ток $\tau_п = T / 4$; *4* и *4`* — периодический ток $I_{пр} / I_{обр} = 2$; *5* и *5`* — импульсный ток $\tau_{пр} = 10^{-3}$ с, $E_{равн} = -1{,}076$ В

Выход по току, %, компактного (К), дисперсного (Д) и водорода (H_2) из ванны улавливания, содержащей, г/л: 1,5$ZnSO_4$ × 7H_2O + 5,0$(NH_4)_2SO_4$

I, А/дм^2	$I_{пр} = 10^{-3}$, с			$I_{пр} = T / 2$			$I_{пр} / I_{обр} = 2$		
	К	Д	H_2	К	Д	H_2	К	Д	H_2
0,5	91,12	8,01	0,87	90,0	9,90	1,00	96,71	2,06	1,23
1,5	2,12	95,63	2,65	1,88	94,84	3,28	1,40	94,36	4,24
3,0	1,89	92,11	6,0	1,66	90,34	8,00	1,10	90,10	8,80
5,0	1,70	87,22	11,08	1,55	84,95	13,50	0,86	82,12	17,02
8,0	1,49	83,45	15,06	1,37	79,24	19,39	0,71	76,26	23,05
10,0	1,40	81,73	16,84	1,37	78,03	20,60	0,64	74,61	24,75

Полученные результаты позволяют предложить дополнительные устройства к ванне улавливания в процессах цинкования. Это устройство представляет собой гребенчатый катод, состоящий из полых стержней, связанных общим токопроводом. Анодом может служить лист инертного металла (титана, графита, свинца). По мере накопления осадка катод вынимается из ванны улавливания, и осадок снимается. Полученный порошкообразный цинк промывается водой, высушивается горячим воздухом и ссыпается для дальнейшего использования.

Выводы:

1. В работе проведены исследования метода электрокоагуляции с применением периодического тока для извлечения цинка из промывных сточных вод гальванических производств.

2. Выход по току металлического цинка зависит от плотности и формы тока. Максимальный выход по току наблюдается при плотности тока I = 1,5 А/дм^2.

3. Извлечение и регенерация цинка позволяет не только решить экологическую проблему загрязнения окружающей среды, но и применять извлеченный порошкообразный металлический цинк в промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Яковлев С. В., Краснобородько И. Г., Рогов В. М.* Технология электрохимической очистки воды. Л. : Стройиздат, 1987. 312 с.

2. *Гребенюк В. Д., Соболевская Т. Т., Махно А. Г.* Состояние и перспективы развития методов очистки сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. 1989. № 5. С. 407—421.

3. *Тимофеева С. С., Лыкова О. В., Кухарев Б. П.* Использование химически модифицированных сорбентов для извлечения ионов металлов из сточных вод // Химия и технология воды. 1990. Т. 12. № 6. С. 505—508.

4. *Тимофеева С. С., Баранов А. Н., Зубарев Л. Д.* Комплексная оценка технологий утилизации осадков сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 1. С. 68—74.

5. *Назарян М. М., Ефимов В. Т.* Электрокоагуляторы для очистки промышленных стоков. Харьков : Вища школа, 1983. 142 с.

6. *Костин Н. А., Кублановский В. С., Заблудовский В. А.* Импульсный электролиз. Киев : Наукова думка, 1989. 168 с.

7. *Слипченко А. В., Максимов В. В., Кульский Л. А.* Современные малоизнашивающиеся аноды и перспективы развития электрохимических технологий водообработки // Химия и технология воды. 1993. Т. 15. № 3. С. 180—231.

8. *Pesco A. M., Chen H. Y.* Theory and application of batch electrolysis // Modern Aspects of Electrochemistry. Vol. 19. New York, 1989. Pp. 251—258.

9. *Вейц Н. А., Гриднев В. Ф., Зинин П. В.* Использование электрокоагуляции на переменном токе в очистке сточных вод медно-никелевых ванн // Перспективы развития химии : тез. докл. регион. конф. Сибири и Дальнего Востока. Красноярск, 1989. С. 149.

10. Нестационарный электролиз / А. М. Озеров, А. К. Кривцов, В. А. Хамаев, В. Т. Фомичев, В. В. Саманов, И. А. Сведрлин. Волгоград : Ниж.-Волж. книж. изд-во, 1972. 160 с.

11. *Дырова Е. А.* Очистка промышленных стоков электрокоагуляцией в нестационарном режиме // Очистка природных и сточных вод : межвуз. сб. науч. тр. Ростов н/Д. : Рост. гос. акад. стр-ва, 1997. С. 35—38.

12. *Плаксеев Е. В.* Электролитическое получение высокомолекулярных порошков из щелочных электролитов : дис. … канд. хим. наук. М. : МХТИ, 1965.

13. Manufacture of coarse copper powder from sulfamate electrolytes (part I) / N. L. Kotovskaya, I. I. Prosviryakova, A. V. Pomosov, L. M. Kurvyakova // Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 1973. Vol. 12. Pp. 93—96.

14. *Тугушев Р. Э.* Безотходное гальваническое производство — перспективы и реальность // Гальванотехника и обработка поверхности. 1996. Т. 4. № 1. С. 37—39.

15. Способ получения кислых и щелочных растворов : а. с. 1650603, МКИ 3 С 02 F 1/46 ; опубл. 23.05.1991 / Фомин А. М., Дросвянников А. Ф., Фридман Б. С. Бюл. изобр. № 7-8.

16. *Винник А. Ф., Бойко А. В., Слюсарская Т. В.* Некоторые вопросы теории и практики импульсного электролиза // Прикладная электрохимия. Теория, технология и защитные свойства гальванических покрытий. Казань : Казан. хим.- технол. ин-т, 1991. С. 31—35.

17. *Севастьянов Б. М., Нечаева Н. Е., Бутейко Ж. Ф.* Влияние скважности импульсного тока на процесс электроосаждения хрома // Укр. хим. журн. 1987. Т. 3. № 10. С. 1052—1062.

© Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Фомичев В. Т., Губаревич Г. П., Савченко А. В. Использование импульсного тока для очистки промывных вод от примесей цинка // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 213—219.

Об авторах:

Фомичев Валерий Тарасович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. общей и неорганической химии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; cand@vstu.ru

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

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

Valerii T. Fomichev, Galina P. Gubarevich, Aleksei V. Savchenko

Volgograd State Technical University

USE OF PULSE CURRENT FOR PURIFICATION OF WASHED WATER FROM ZINC

Researches of the method of electrocoagulation with the use of periodic current for purification of rinse waste water from galvanic industries from zinc impurities have been carried out.

K e y w o r d s: electrocoagulation, waste water treatment, zinc electrolytes.

For citation:

Fomichev V. T., Gubarevich G. P., Savchenko A. V. [Use of pulse current for purification of washed water from zinc]. *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], 2021, iss. 4, pp. 213—219.

About authors:

Valerii T. Fomichev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd**,** 400074, Russian Federation; cand@vstu.ru

Galina P. Gubarevich — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ggubarevich@mail.ru

Aleksei V. Savchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; savtchenko2@mail.ru

УДК 712.4:502.2

В. Н. Анопин, С. И. Махова, Е. А. Степанова, И. Д. Махов

Волгоградский государственный технический университет

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗЕЛЕНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДА

Приведены показатели, характеризующие комфортность проживания населения Волгограда. Обоснована приоритетность оптимизации городской природной среды методами зеленого строительства. Изложены особенности выполнения функций положительного воздействия зеленых насаждений на жизнедеятельность населения в условиях Волгограда, представлен ассортимент наиболее устойчивых к состоянию и влажности почв, а не только воздействию токсикантов деревьев и кустарников. Приведены материалы, характеризующие климатические, почвенно-геоморфологические и гидрологические условия территории Волгограда, отмечены существенные их различия в разных местоположениях. Обоснована необходимость применения в жестких условиях роста зеленых насаждений селекционно созданного посадочного материала. Изложены особенности методов выполнения селекционных работ для зеленого строительства.

К л ю ч е в ы е с л о в а: природные условия города, инфраструктура, поллютанты, зеленое строитльство, почвенно-геоморфологические условия, селекционный посадочный материал.

Состояние, особенности застройки, расположения улично-дорожной сети, различных коммуникаций и сооружений, наличие элементов благоустройства территорий характеризуют инфраструктуру городской среды. Она определяет комфортность проживания населения, оцениваемую рядом экологических, экономических, социальных и пространственно-композиционных критериев.

Комфортные для населения условия достигаются при максимально благоприятном микроклимате, а также при отсутствии или незначительном проявлении техногенных факторов, в первую очередь минимальном загрязнении воздуха и воды, отрицательно влияющем на здоровье и работоспособность человека. Важность смягчения чрезмерно выраженных амплитуд микроклимата является одной из приоритетных задач градостроительного проектирования, отвечающего требованиям концепции достижения экологически благоприятной урбанизированной среды, создания биосферосовместимого города [1].

На территориях городов с выраженным рельефом, к которым относится Волгоград, в периоды с большой разницей температуры воздуха в дневное и ночное время могут проявляться микроклиматические эффекты в форме возникновения локальных ветров и загрязнения воздуха. Для их предупреждения необходимо снижение дневного нагрева поверхностей, в первую очередь затенением их правильно посаженными деревьями [2—4]. Для Волгограда, имеющего линейную структуру и протяженность более 80 км, также важными показателями комфортности являются хорошее техническое состояние дорог и достаточное их количество в параллельных направлениях, обусловливающее отсутствие заторов на улично-дорожной сети, удобство систем общественного транспорта, возможность ориентирования на городских улицах и проспектах [5, 6]. Однако, по данным рейтинга Росгосстраха, по состоянию дорог Волгоград занимает 31-е место среди 35 крупных российских городов.

В большинстве крупных городов европейской части Российской Федерации основой блока ликвидации экологических проблем является решение вопросов максимально возможного снижения загазованности и запыленности воздушного бассейна. Прежде всего оно обеспечивается мероприятиями озеленения территорий, имеющими комплексный средозащитный характер, включающий уровень эстетических и эксплуатационных возможностей мелиорированной городской среды, успешно сочетающихся с достижением высокой степени благоустройства территорий различного функционального назначения.

К настоящему времени выполнено большое количество исследований в области восстановления и улучшения состояния нарушенных в процессе строительства урбанизированных городских земель. Наиболее эффективным является обустройство всего связанного биогеохимическими процессами участка земной поверхности, т. е. элемента основной части ландшафта — геосистемы. Поэтому целенаправленные мероприятия должны выполняться с учетом как особенностей элементов геосистем и их компонентов, так и общих характеристик ландшафтных систем, в первую очередь почв и геологического строения территории. Из принципа важности всех компонентов почвенно-геоморфологических условий (ПГУ) [7] вытекают три основных положения:

1) все компоненты систем ПГУ являются необходимыми и ничем не дублируемыми факторами специфики их взаимодействия;

2) состояние компонентов ПГУ представляет собой одновременно закономерный и оригинальный результат взаимодействия элементов геосистемы; оно обусловливает взаимодействие элементов геосистемы, их внешнюю регуляцию, накладывает на них определенные отпечатки и изменяет характер их саморегуляции;

3) все компоненты ПГУ являются сложноорганизованными, в определенном направлении упорядоченными образованиями, составляющими общую основу.

Целью проведения на урбанизированных территориях зеленого строительства является создание культурного ландшафта, характеризующегося многочисленными благоприятными для городского населения свойствами. В нашем понятии, культурный урболандшафт — это модификация ландшафта городской территории, формирующаяся и функционирующая под воздействием городских зеленых насаждений, обладающих стабилизирующим мелиоративным воздействием на окружающее пространство, способствующих восстановлению деградированных компонентов геосистем. Его создание является важнейшей основой адаптивной организации природопользования, обеспечивает сохранение и увеличение биологического разнообразия и рекреационных возможностей территории.

Содержание исследований в области городского зеленого строительства должно группироваться по двум взаимосвязанным и взаимообусловленным направлениям:

а) пространственное размещение городских зеленых насаждений и их нормативы при организации урбанизированных территорий, обеспечивающие выполнение ими необходимых функций биологического благоустройства территории, формирующие оптимальный экологический баланс для решения социальных и оздоровительных задач населения и достижение повышения производительной его деятельности со всеми необходимыми вопросами в

области экологии, географии, геоморфологии, градостроительства, экономики, городского кадастра и др.;

б) вопросы создания и обеспечения оптимального состояния насаждений: выбор ассортимента пород, разработка технологии создания, поддержания высокой эффективности, жизнестойкости и надлежащего санитарного состояния зеленых насаждений, обеспечение непрерывности воздействия их на смежные объекты, возобновления и восстановления решением всего набора необходимых вопросов — селекции и интродукции растений, семеноводства древесных пород и выращивания посадочного материала, физиологии растений, садового и паркового строительства, экологии, экономики и т. д.

В процессе поиска оптимальной экологической адаптации природопользовательских подсистем (структура расселения, элементы благоустройства, акватории и их гидротехнические сооружения и др.) урболандшафт часто целесообразно дифференцировать до уровня урочищ и фаций. Далее они должны являться неделимыми организационными элементами территории и использоваться в качестве рабочих участков для размещения различных видов городских зеленых насаждений. Их параметры, размещение и характер должны соответствовать территориально-генетическому сопряжению компонентов геосистем, отвечающих структурным единицам (форма, рельеф, величина уклона, экспозиция склона, почвы, почвообразующая и подстилающая породы, грунтовые воды и др.). Соблюдение данного принципа обеспечивает возможность научно обоснованной оптимизации урболандшафтов.

В острозасушливой зоне территории расположения Волгограда микроландшафтные процессы, обладающие сложной временной структурой, нередко отличающиеся асинхронностью, эффектом инерции, прослеживаются на фоне явлений с более растянутыми временными циклами. Поэтому разработку мероприятий зеленого строительства следует проводить для средних, а при высокой динамике ландшафтных процессов и низких таксономических звеньев в ранге местностей, урочищ и фаций, которые при рекультивации трансформируются в комплексы, имеющие благоприятные для населения экологические условия и при этом в достаточной степени адекватные морфоструктуре аналогичных природных ландшафтов.

Положительное воздействие зеленых насаждений на состояние природной среды принято разделять на следующие основные функции: а) снижение шума; б) задержание пыли; в) поглощение углекислого газа и выделение кислорода; г) выделение фитонцидов; д) ионизация атмосферного воздуха, насыщение его электричеством отрицательного заряда; е) психологическая функция — снятие стрессов [8, 9].

По нашей оценке, у зеленых насаждений Волгограда наиболее важной является фитонцидная функция. Вырабатываемые растениями для самозащиты от бактериальных и грибковых заболеваний фитонциды губительно воздействуют на многие болезнетворные микроорганизмы. Различный химический состав фитонцидов разных древесных пород обусловливает неодинаковое воздействие на микроорганизмы. Фитонциды дуба черешчатого наиболее эффективны против дизентерии, можжевельников — против брюшных заболеваний, сосны обыкновенной — против туберкулеза, черемухи обыкновенной, рябины обыкновенной и можжевельников — против вредных насекомых.

Значительный фитонцидный эффект имеет место в зеленых насаждениях робинии лжеакации, березы повислой, ивы белой, каштана конского, липы мелколистной, осины, тополя серебристого, ели обыкновенной [10], клена остролистного, ясеня обыкновенного, караганы древовидной, спиреи зверобоелистной, жимолости татарской [11]. Кроме того, контактируя с токсичными веществами газов, фитонциды вступают с ними в химические реакции, превращая их в менее вредные соединения [12].

Аккумуляция пыли зелеными насаждениями зависит от шероховатости листьев, наличия морщинок, складок, ворсинок. Наиболее пылеемкими породами являются вяз приземистый, робиния лжеакация, сосна обыкновенная, ива белая, тополь канадский, шелковица белая, ясени ланцетный и обыкновенный, клен полевой, лох узколистный, сирень обыкновенная, яблони лесная и культурная [10].

В процессе урбанизации населенных территорий имеет место неуклонный рост количества психических заболеваний. Порядка 80 % пациентов психиатрического профиля страдают «синдромом большого города», основными признаками которого являются хроническая усталость, подавленное состояние, неуравновешенность и даже агрессивность. И хотя нет четких доказательств причинно-следственных связей этих заболеваний, в том числе функциональных расстройств, психических отклонений, неврозов и т. д., с особенностями урбанизированной среды, косвенные данные подтверждают ее наличие. В местах с плохой визуальной средой, где целые микрорайоны состоят из агрессивных полей, резко ухудшается криминальная обстановка [13, 14]. Это свидетельствует о важности и необходимости учета при выполнении зеленого строительства психологической функции зеленых насаждений — применении ландшафтно-архитектурного подхода к их проектированию.

Широко распространенное мнение об эффективности кислородопроизводительной функции зеленых насаждений дискуссионно. В условиях Волгограда большая часть кислорода, выделенного в течение вегетационного периода в процессе фотосинтеза, компенсируется его поглощением при перегнивании или сжигании опавших листьев и древесины, отмирающих корней и ветвей древесных растений в поздне-осенний и весенний периоды.

Интенсивное проявление зелеными насаждениями изложенных функций возможно только при их соответствующем состоянии, которое ухудшается при чрезмерном воздействии токсинов [15—19]. По расчетам с использованием математических методов статистики установлено, что наиболее сильное отрицательное влияние на древесные растения в Волгограде оказывают поллютанты промышленных предприятий химии, нефтехимии и металлургии, а также автомобильного транспорта, содержащие сернистый газ, сероводород, азотные и хлористые соединения, соединения фтора, окись азота и жирные вещества дыма [20—23].

Из рекомендуемых для зеленого строительства в условиях Волгограда древесных пород [24] наиболее стойкими к поллютантам являются: тополи (пирамидальный, черный, канадский), робиния лжеакация, вяз приземистый, ясень ланцетный, шелковица белая, ель колючая и лох серебристый. При этом нашими наблюдениями установлено, что в условиях агломерации состояние зеленых насаждений в наибольшей степени зависит не от индивидуальной устойчивости древесной породы к значительным дозам токсиканта,

а от условий роста, в первую очередь водно-физических свойств и режима увлажнения почв и почвообразующих материнских пород. Так, находящиеся под воздействием поллютантов литейных цехов Волжского трубного завода и выбросов автомобильного транспорта дороги с интенсивным движением Волжский — Энгельс, насаждения березы повислой, ивы белой, сосны обыкновенной и ели колючей в условиях оптимального увлажнения имели отличное состояние и в возрасте 35 лет достигли средней высоты 15; 13,1; 12,7; 10,2 м соответственно. В этих условиях слабоустойчивые к токсинам береза повислая и сосна обыкновенная имели более высокий бонитет (I, II), чем считающаяся более стойкой ель колючая (II, 5). Отмечены и другие особенности воздействия техногенных факторов на рост зеленых насаждений. Например, наличие в непосредственной близости от насаждения асфальтового покрытия, ухудшающего их состояние на большей части территории России [1, 25], в условиях Волгограда такого воздействия практически не оказало [26].

В связи с вышеизложенным считаем необходимым уточнение ряда положений, существующих в разработках выполнения озеленительных работ.

Характерной особенностью территории расположения Волгограда являются неблагоприятные для произрастания зеленых насаждений климатические условия. Ее открытость обусловливает свободное проникновение зимой холодных воздушных масс с севера и востока, а летом поступление сухого воздуха из Центральной Азии и Ближнего Востока с повышением температуры воздуха до 34…38 °С и снижением его относительной влажности до 10…12 % . Абсолютный минимум температуры воздуха в Волгограде был равен – 41 °С, максимум — 45 °С. Средняя норма атмосферных осадков составляет 340 мм [27], изначальная их часть не может усваиваться древесными растениями вследствие физического испарения и поверхностного стока со склонов различной крутизны, в то время как для произрастания даже засухоустойчивых сосновых насаждений нормальной полноты необходимо 200…300 мм, лиственных — 300…400 мм усваиваемых осадков [28]. От рельефа земной поверхности зависят и другие условия роста зеленых насаждений.

Для детальной характеристики почвенно-геоморфологических условий Волгограда и его окрестностей нами были выполнены картометрические работы и последующие натурные обследования его территории. С учетом данных С. К. Горелова [29] было выделено семь различающихся почвенно-геоморфологических участков (п.г.у.): а) в ландшафтной полосе юга Приволжской возвышенности — Северный, Северо-Восточный, Городищенский, Срединный, Юго-Восточный; б) в ландшафтной полосе северных Ергеней — Предканальный и Заканальный.

Северный п.г.у. (между балкой Котлованная и малой рекой Сухая Мечетка) сложен ергененскими и царицынскими песками с маломощным покровом суглинков. Почвы преимущественно суглинистые и глинистые, в разной степени солонцеватые. Территория характеризуется пологими формами рельефа. Средняя крутизна присетевых склонов равна 2°, склонов балок — 5…11°. Вблизи устья Сухой Мечетки площади расчленены большим числом оврагов.

Северо-восточный п.г.у. включает поселки Волгограда Орловский и Водстрой и прилегающую к ним территорию. Почвы участка в основном глинистые и тяжелосуглинистые в комплексе с солонцами, образовавшиеся на

маломощных суглинках, подстилаемых ергененскими песками на кровле царицынских песков. Рельеф территории слабоволнистый, представлен склонами крутизной от 1,0…1,5° в периферийной северной части до 2,0…2,5° в селитебной зоне и вблизи нее. Земли участка расчленены крупными балками (Каменская, Песчанка, Водяная, Казенная) глубиной до 20…25 м и с крутизной балочных склонов 4…12°.

Городищенский п.г.у. расположен на территории с почвами и почвообразующими породами преимущественно легкого гранулометрического состава на легких суглинках, подстилаемых ергененскими песками, перекрывающими, в свою очередь, водоупорные майкопские глины. Выходы их грунтовых вод являются истоками малых рек Царицы и Мокрой Мечетки. Присетевые склоны пологие (крутизна менее 2°). Расчленяющие участок река Мокрая Мечетка и балки Бирючья, Казенная, Гнусина и Таловая имеют крутые берега в верхних частях (12…15°) и пологие в средних и нижних.

Большая часть Срединного п.г.у. представлена склонами крутизной до 4°, разделенными абразивно-аккумулятивной террасой с постепенно увеличивающейся шириной в южном направлении. Почвы участка светло-каштановые, в северной части местами солонцеватые, тяжелого гранулометрического состава, в южной — легкие на маломощных суглинках и супесях, подстилаемых ергененскими песками, залегающими на майкопских глинах. Расчленяющие поверхность южной части участка балки Ельшанка, Купоросная, Найденова и Горная Поляна глубиной до 20…22 м с крутыми склонами направлены в восточном направлении.

Юго-западный п.г.у., включающий Кировский административный район Волгограда и прилегающую к нему территорию, сложен ергененскими песками и скифскими глинами, расположенными над размытой кровлей майкопских глин. Практически все почвы светло-каштановые, сильно- и среднесмытые, часто в комплексе с солонцами. Значительная часть застроенной территории расположена на широкой абразивно-аккумулятивной террасе. Прилегающая к ней полоса шириной 400…500 м имеет крутизну порядка 6° и заканчивается в южной части склоном переменной крутизны очень крупной балки Отрада.

Предканальный п.г.у. расположен на широкой, местами заболоченной террасе, переходящей в верхней части в склоны крутизной в основном до 3°. Почвообразующие и подстилающие горные породы — скифские глины, местами ергененские пески, перекрывающие майкопские глины. Почвы светло-каштановые тяжелого гранулометрического состава в комплексе с солонцами. На наиболее крутых участках склонов они сильно- и среднесмытые.

Заканальный п.г.у., находящийся на широкой волжской террасе и острове Коряжный, характеризуется отсутствием выраженной суходольной гидрографической сети. Его территория расположена на образовавшейся в предшествующие геологические эпохи морской низменной равнине, сложенной хвалынскими шоколадными глинами. Почвы светло-каштановые, в значительной степени солонцеватые, в комплексе с солонцами и солончаками.

Изложенное свидетельствует о значительном различии строения рельефа, характера почвообразующих и подстилающих горных пород, гидрогеологических и почвенных условий не только между почвенно-геоморфологическими участками территории Волгограда, но (хотя и в меньшей степени) и в различных

их частях. Следовательно, для качественного выполнения зеленого строительства необходим дифференцированный подход к разработке технологий, в максимальной мере учитывающих весь комплекс почвенно-геоморфологических и гидрологических условий озеленяемого участка.

Важным условием эффективности зеленого строительства в Волгоградской агломерации является использование адаптированного к ее сложным условиям качественного селекционно созданного посадочного материала [2]. Его семена должны быть получены с использованием методов древесной селекции. Следует констатировать, что селекции древесных и кустарниковых пород в зеленом строительстве уделяется недостаточно внимания, хотя она, несомненно, важна для достижения необходимого экологического и ландшафтно-архитектурного состояния урбанизированной среды.

В защитном лесоразведении одним из основных методов повышения устойчивости древесных насаждений к различным неблагоприятным факторам природной среды является организация семеноводства для выращивания посадочного материала на селекционно-генетической основе.

По аналогии в аридных условиях агломерации в зеленом строительстве целесообразно применение посадочного материала, выращенного из семян, заготовленных на лесосеменных плантациях, с проверенными наследственными признаками. В городских условиях одним из важнейших показателей, определяющих состояние зеленых насаждений, является их устойчивость к воздействию поллютантов [30]. В Волгоградской агломерации в последние десятилетия существенно снизились выбросы токсичных газов промышленными предприятиями, но в разы возросло поступление в атмосферу поллютантов автомобильного транспорта. В связи с этим выбор и закладку древесно-семенных баз целесообразно проводить в насаждениях, устойчивых в первую очередь к интенсивному воздействию автотранспортных выбросов. По нашему мнению, для этого наиболее рациональным является выявление и использование плюсовых насаждений или даже отдельных плюсовых деревьев в придорожных лесных полосах автомагистралей с интенсивным движением транспорта.

Известно, что в малоблагоприятных почвенно-климатических условиях высокоэффективные и долговечные древесные насаждения можно создать только из селекционного материала, полученного от устойчивых биотипов, адаптированных к природным условиям, методами популяционного или индивидуального отбора. В лесном хозяйстве широко применяется клоновая селекция (отбор для использования наиболее быстро растущих клонов), направленная на повышение продуктивности выращиваемых лесонасаждений [31]. Вследствие различий целей методы селекционных работ для зеленого строительства должны иметь другое направление и, по нашему мнению, могут быть в некоторой степени сходными с разработанными во Всероссийском НИИ агролесомелиорации [32]. По аналогии с ними при генетической оценке селекционного материала для зеленого строительства следует учитывать прежде всего его устойчивость к абиотическим факторам и их репродуктивную способность. Выявление степени засухо-, соле-и морозоустойчивости целесообразно приводить после воздействия как естественных, так и искусственно созданных экстремальных ситуаций путем моделирования последних в вегетационных опытах и климакамерах.

По результатам разностороннего изучения биологических и морфологических свойств выбранных плюсовых деревьев возможна их интегральная оценка по экологическим и ландшафтно-архитектурным показателям. Наиболее ценные из них целесообразно рекомендовать для создания лесосеменных плантаций высшего генетического уровня, предназначенных для производства элитных семян. Рационально создание как клоновых (посадкой привитых и укорененных черенков), так и семейственных (посевом семян или посадкой сеянцев из семенного материала окончательно отобранных плюсовых деревьев) плантаций.

Основными критериями отбора генофонда для использования в озеленении городских территорий аридной зоны в равной степени должны быть декоративность и жизнеспособность древесных видов и разновидностей: устойчивость к воздействию поллютантов, засухо-, соле- и морозостойкость, невысокая подверженность воздействию рекреационной нагрузки, болезней и вредителей при хороших показателях состояния и минимальном аллергическом воздействии на городское население. В обязательном порядке следует использовать плюсовые деревья с уникальными формами крон, обеспечивающие возможность использования их потомства в качестве солитеров при создании ландшафтно-архитектурных ансамблей зеленых насаждений [33].

Таким образом, главным условием создания долговечных устойчивых декоративных зеленых насаждений Волгограда является применение научно обоснованных адаптивных к его условиям ландшафтно-архитектурных методов, разработанных с учетом конкретных условий каждого участка зеленого строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Колчунов В. И., Соболева Е. А., Борисов М. В.* Предложения по оценке параметров рекреационных зон биосферосовместимых жилых микрорайонов города // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2014. № 4 С. 91—100.

2. *Анопин В. Н., Рулев А. С.* Особенности выполнения работ зеленого строительства при решении геоэкологических проблем Волгоградской агломерации // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 170—181.

3. Planungsreleregion the Bewertung des Stadrklimas — Am Beispiesl Von Freiburg im Breisgan / A. Matzarakhis, R. Rockle, C. J. Richter, H. C. Hoft, W. Steinicke, M. Streifeneder, H. Mayer // Gifahrstaffe — Reinhalturzg der Luft. 2008. No. 68. Pp. 334—340.

4. *Анопин В. Н., Калиновский С. А., Рулев А. С.* Картографирование территорий Волгоградской агломерации для ее обустройства методами зеленого строительства. Волгоград : ВолгГАСУ.

5. Формирование системы индикаторов визуальной информационно-эстетической модели для цифровой дорожно-транспортной инфраструктуры городской среды / М. М. Девятов, В. С. Волков, И. М. Вилкова, О. В. Гогулина // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1. С. 67—77.

6. Методика формирования архитектурно-ландшафтного и эстетического облика дороги для повышения удобства и безопасности движения / М. М. Девятов, В. С. Волков, О. В. Гогулина, Д. А. Щебетко // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1. С. 67—77.

7. *Солнцев В. Н.* Системная организация ландшафтов. М. : Мысль, 1981. 239 с.

8. *Владимиров В. В., Микулина Е. М., Ягина З. Н.* Город и ландшафт. М, 1986. 238 с.

9. *Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Создание комфортной мультисерийной среды как актуальная проблема современного паркового строительства // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2011. С. 155—164.

10. *Горохов А. В.* Городское зеленое строительство. М., 1991. 161 с.

11. *Тюльпанов Н. М.* Лесопарковое хозяйство. Л., 1975. 161 с.

12. *Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А.* Принципиальные положения оптимизации зеленого строительства в Волгоградской агломерации // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 162—170.

13. *Кузьмичев А. А., Азаров В. Н.* Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на внешний облик и восприятия строительных конструкций и памятников архитектуры // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 1(13). С. 86—94.

14. *Филин В. А.* Визуальная среда города // Вестн. Междунар. акад. наук. Рус. секция. 2006. № 2. С. 43—50.

15. *Enderlein H., Kastner W.* Welchen Einflus hat der Mangel eines Nahr-stoff auf die SO_2 — Restern 1 jariger Kiefern // Arh Forstwes, 1972. Pp. 431—435.

16. *Levitt A.* Pesponses of plaats to Environmental Stresses Nerv Vorn. London : Academie Press, 1972. 260 p.

17. *Rippel A.* Florid intohe from food // Fluoride. 1972. No. 5. Pp. 90—97.

18. Characterization of partiles adsorbetion plant surface / N. Simmleit, A. Toth, T. Szecely, M. Schulten // Int. Y. Enviren Anal Chem. 1989. Vol. 36. No. 1. Pp. 7—11.

19. *Ulrih B.* Saner Regen Bedzohung fur die Walder // Allg. Frstzlitung. 1982. Vol. 92. No. 8. Pp. 210—211.

20. *Alfred P.* Scattered data interpolation in three or mor variables // Mathematical methods in computer aided geometric design. Boston : Acad. Press., 1989. Pp. 1—33.

21. *Hosara M.* Modeling of curbez and surfaces in CAD/CAM. Berlin : Heideelberg, 1996.

22. *Ripley B. D.* Spatial statistics. New York : J. Wiley and Sons, 1981. 420 p.

23. *Spaleny J.* Vliv kourovych imist na mranzdornost smrkuztepilche // Lesnper. 1980. Vol. 59. No. 10. Pp. 411—414.

24. *Анопин В. Н., Матовникова Н. Г., Матовников С. А.* Архитектурно-планировочные и адаптивно-ландшафтные основы зеленого строительств на территории Волгоградской агломерации. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. 159 с.

25. Озеленение населенных мест : справ. / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Вольтруб и др. М., 1987. 480 с.

26. *Анопин В. Н., Матовников С. А., Матовникова Н. Г.* Ландшафтно-архитектурные методы в зеленом строительстве Волгоградской агломерации // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 248—257.

27. Агроклиматический справочник по Волгоградской области / Сост. З. М. Русеева и др. 2-е изд., доп. и перераб. Л. : Гидрометеоиздат, 1967. 143 с.

28. *Анопин В. Н.* Географические основы лесной рекультивации деградированных урболандшафтов Нижнего Поволжья. Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. 170 с.

29. *Горелов С. К.* Геоморфология и новейшая тектоника правобережья Нижней Волги // Тр. Ин-та геогр. АН СССР. 1957. Т. 73. Вып. 19. 138 с.

30. *Анопин В. Н.* Ландшафтно-архитектурный подход к планированию зеленого строительства в урболандшафтах аридной зоны // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 328—338.

31. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М., 2000. 198 с.

32. Руководство по селекционному семеноводству древесных видов для защитного лесоразведения в аридных условиях европейской территории. М. : РАСХН, 2001. 72 с.

33. *Анопин В. Н., Солодовников Д. А., Степанова Е. А.* Адаптивно-ландшафтные технологии восстановления и преобразования насаждений зеленого кольца г. Волгограда // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 138—250.

© Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А., Махов И. Д., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А., Махов И. Д. Экологический подход к выполнению зеленого строительства в условиях Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 220—229.

Об авторах:

Анопин Владимир Николаевич — д-р географ. наук, проф., проф. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; AnopinVl.Nik.48@yandex.ru

Махова Светлана Ивановна — канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Степанова Екатерина Александровна — доц. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ekserstepan@bk.ru

Махов Иван Дмитриевич — аспирант каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sv_kgmn@mail.ru

Vladimir N. Anopin, Svetlana I. Makhova, Ekaterina A. Stepanova, Ivan D. Makhov

Volgograd State Technical University

AN ECOLOGICAL APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF GREEN CONSTRUCTION IN THE CONDITIONS OF VOLGOGRAD

The main indicators characterizing the comfort of living of the population in the urbanized territories of the arid climatic zone are given. The expediency of solving environmental problems of improving the state of infrastructure and landscaping of territories for various functional purposes is noted. The priority of optimizing the conditions of the urban environment is substantiated by the methods of green construction. The features of the performance of the functions of the positive impact of green spaces on the living conditions of the population in Volgograd are presented, an assortment of the most resistant to the effects of toxicants and unfavorable conditions for the growth of trees and shrubs is presented. The materials characterizing the climatic, soil-geomorphological and hydrological conditions of Volgograd are presented, their very large differences in different locations are noted, and the classification of the city's territories according to their indicators is proposed. The necessity of using selectively created planting material adapted to them under severe conditions of tree vegetation has been substantiated. The differences in the methods of performing selection works for green construction from those used in forestry are stated.

K e y w o r d s: natural conditions of the city, infrastructure, pollutants, green building, soil and geomorphological conditions, selection planting material.

For citation:

Anopin V. N., Makhova S. I., Stepanova E. A., Makhov I. D. [An ecological approach to the implementation of green construction in the conditions 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], 2021, iss. 4, pp. 220—229.

About authors:

Vladimir N. Anopin — Doctor of Geographical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AnopinVl.Nik.48@yandex.ru

Svetlana I. Makhova — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru

Ekaterina A. Stepanova — Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ekserstepan@bk.ru

Ivan D. Makhov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sv_kgmn@mail.ru

УДК 712.4:502

Н. В. Иванова, И. А. Дубов, К. Р. Назаров, И. С. Мурадов

Волгоградский государственный технический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕАЛЛЕРГЕННОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Статья посвящена проектированию неаллергенного ландшафта города. Была проведена оценка аллергенного потенциала элементов озеленения разного функционального назначения Волгограда (озеленение жилых дворов, общественных пространств, видового и породного состава посадок). Разработаны основы проектирования низкоаллергенного ландшафта и даны рекомендации по оптимизации системы городских насаждений различного функционального назначения, направленные на совершенствование безопасного озеленения города. Предложено экспериментальное проектирование безопасного ландшафта на примере территории Волгограда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: аллергенный потенциал, зеленые насаждения, неаллергенный ландшафт.

Зеленые насаждения являются органической частью городской планировочной структуры и выполняют разнообразные функции (санитарно-гигиенические и декоративно-планировочные), направленные на совершенствование экологического состояния среды города. Посадки растений обогащают воздух кислородом и очищают от вредных примесей, влияют на параметры микроклимата, обеспечивают комфортность и качество среды обитания человека, выступая значимым средообразующим и средозащитным фактором. Некоторые же растения создают угрозу для здоровья людей, страдающих аллергией. Пыльца растений является одной из самых распространенных причин поллиноза, которым страдает каждый четвертый житель нашей планеты. Ежегодно 8 июля люди отмечают Всемирный день борьбы с аллергией.

Известно более 700 видов растений, к которым у больных аллергией может возникнуть чувствительность, существуют и гипоаллергенные растения, участвующие в формировании безопасного открытого пространства. Всесторонний учет характеристик зеленых насаждений, видового состава посадок, их аллергенного потенциала, возможности составления ландшафтных композиций из растений с разными значениями аллергенного потенциала создают значительные сложности в процессе этапа ландшафтного проектирования.

Цель работы — исследование принципов проектирования озеленения с учетом насаждений различного аллергенного потенциала

Задачи исследования:

изучение специальной литературы по формированию низкоаллергенного озеленения;

обследование озелененных пространств разного функционального назначения (натурные, картографические работы в системе NextGIS, Google Street View);

разработка основ формирования и рекомендаций по проектированию низкоаллергенного ландшафта города;

экспериментальное проектирование безопасного ландшафта города.

Вопрос изучения растений-аллергенов является актуальным для исследователей разных стран мира. Так, разрабатываются методы мониторинга для оценки риска аллергии на пыльцу, классифицируются подходы исследований, основанные на растительности, пыльце и аллергенах [1]. В мониторинге растительности авторы используют индексы аллергенности, рекомендации по дендрологии растений, выступающих как аллергены, которые вырабатывают пыльцу в основном в ранние утренние часы (наиболее опасное время для аллергиков). В литературе отмечается, что в весенний период основной причиной аллергии в Польше является пыльца березы, у которой наблюдается высокая пространственная и временная изменчивость сезонов распространения [2]. Поэтому становится важным отслеживать и прогнозировать концентрации пыльцы в воздухе, так как деревья многих видов этого рода широко распространены, а цветы производят большое количество пыльцы.

В связи с увеличением числа людей, страдающих аллергией на пыльцу растений, особое внимание уделяется созданию низкоаллергенного ландшафта, видам, породному составу озеленения в городской среде, рекомендациям по низкоаллергенным растениям, которые могут быть выбраны для снижения общего содержания пыльцы в ландшафтной среде [3].

Фактические данные показывают, что городские зеленые территории — Urban green spaces (UGS), являясь важными элементом планировочной структуры города, проявляют себя как источник аллергенной пыльцы [4]. Исследования показали интересные результаты, которые необходимо учитывать при проектировании: одиночное дерево производит больше пыльцы, чем группа деревьев, а парк в центре города, окруженный густо застроенными территориями, показал самый высокий аллергенный потенциал и концентрации пыльцы.

Актуально в свете современного интереса к городскому озеленению изучение воздействия зеленых насаждений (открытой растительности в районах) на здоровье человека [5]. Как отмечается в медицинских источниках, плохая экология города (загрязнение воздуха и воды, ухудшающийся климат) становится экологическим фактором риска распространения респираторных аллергий [6—9]. Низкое качество окружающей городской среды также активно действует на уменьшение доступности зеленых насаждений для жителей, что несомненно влияет на физическое и психическое здоровье городского населения [10, 11]. Напротив, биоразнообразие зеленых насаждений значительно улучшает общее состояние человека [12].

Американская академия аллергии, астмы и иммунологии (AAAAI) занимается разработкой рекомендаций по созданию низкоаллергенного ландшафта [13]. Специалисты организации предлагают включать в видовой состав насаждений энтомофильные растения, которые опыляются насекомыми и выделяют значительно меньше пыльцы, чем ветроопыляемые растения (анемофильные). Особое внимание уделяется энтомофильным растениям, которые нуждаются в насекомых в качестве переносчиков и обычно производят меньшее количество пыльцы по сравнению с анемофильными (опыляемыми ветром) видами [3].

Зеленые насаждения Волгограда. Зеленые насаждения являются важным элементом градостроительной структуры Волгограда и его городского ландшафта, обеспечивают комфортность и качество среды обитания жителей. Большинство выводов указывает на необходимость насаждений для города,

расположенного в резко континентальной зоне и являющегося одним из самых жарких летних городов России [14—18]. В настоящее время озелененная территория Волгограда (парки, скверы, зеленые зоны вдоль магистралей, придомовые территории) нуждается в увеличении зеленых насаждений (в районах отмечается в среднем 10,8 м^2/чел. при норме озеленения 25 м^2 на жителя: в Краснооктябрьском районе этот показатель равен 11,4 м^2/чел., в Центральном районе норма соблюдается — 27,9 м^2/чел.[*]).

Некоторые растения, формирующие зеленый пояс Волгограда, влияют на жителей неблагоприятно во время цветения: в воздушную среду выделяется пыльца, вызывая аллергические состояния примерно у 15 % горожан, страдающих поллинозом. Число видов растений, вызывающих различные типы аллергии, приближается к двум тысячам, однако продуцируют пыльцу с аллергенной активностью всего чуть более 50 широко распространенных видов. Особенно опасная ситуация создается в городской среде, где пыльца смешивается с частицами выхлопных газов автомобилей и другими агрессивными веществами, характерными для города, что значительно повышает аллергенность самой пыльцы [19]. В перечень опасных насаждений растений входят: береза повислая, тополь пирамидальный, ива остролистная, ольха серая (черная), ясень обыкновенный, дуб обыкновенный, лещина обыкновенная, которые особо опасны в период цветения; сиреневые и жасминовые кусты, растения из рода рододендронов; хвойные растения (ель обыкновенная, сосна обыкновенная); злаковые газонные травы (овсяница луговая, мятлик и т. д.); культурные цветы (георгины, астры, подсолнечники, бархатцы и пр.); сорная трава (амброзия, циклахена дуршниколистная, марь белая, одуванчик лекарственный, крапива жгучая, волчье лыко, полынь горькая и многие другие).

Большие площади открытого грунта с деревьями и кустарниками, выделяющих пыльцу в период цветения, создают неблагоприятную обстановку для людей во время цветения. Поэтому на этапе проектирования зеленых насаждений важно учитывать все виды воздействия растений на жителей, формировать видовой состав посадок таким образом, чтобы количество деревьев и кустарников, выделяющих в атмосферу пыльцу, было незначительным в композициях.

Проведенная оценка видового состава деревьев на дворовых территориях Волгограда (ул. Библиотечная 10, 12; ул. Вершинина 7; ул. Репина 25, 27) выявила виды растений с высоким аллергенным потенциалом [там же]. В основном на данных территориях преобладают ветроопыляемые растения, такие как вязовые (вяз приземистый, гладкий), тополь пирамидальный, клен ясенелистный; встречаются также ясень обыкновенный, береза повислая. Дерево вяза приземистого способно производить около 1 млрд пыльцевых зерен. Пыльца березы повислой распространяется на расстояние от сотни метров до десятков километров. В табл. 1 приведены данные о периоде цветения и максимальной суточной концентрации зерен пыльцы в 1 м^3 видов деревьев, преобладающих на территории Волгограда [20].

[*] Об утверждении долгосрочной муниципальной целевой программы «Озеленение Волгограда» на 2012—2018 годы : постановление Администрации Волгограда от 1 февр. 2012 г. № 211. URL: http://www.volgadmin.ru/ru/MPEconomy/Investments/Programms/ProgrammsEcology.aspx.

Таблица 1

Аллергенный потенциал деревьев, преобладающих на территории Волгограда

Название	Сроки цветения	Максимальная суточная концентрация пыльцевых зерен в 1 м^3/шт.
Береза повислая	Май	20 000
Вяз приземистый	Апрель — май	50
Ель обыкновенная	Май — июнь	647
Клен ясенелистный	Апрель — май	200
Липа мелколистная	Июнь — июль	50
Сосна обыкновенная	Май — июнь	1650
Тополь пирамидальный	Апрель — май	500
Ясень обыкновенный	Апрель — май	100

Из данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод, что самой большой суточной концентрацией пыльцевых зерен обладает береза повислая — 20 000 зерен в 1 м^3. Минимальной суточной концентрацией пыльцевых зерен обладают вяз приземистый и липа мелколистная — 50 зерен в 1 м^3, при том что в среднем опасный предел составляет 10…20 пыльцевых зерен на 1 м^3 воздуха. Береза повислая обладает самым большим аллергенным потенциалом, поэтому ее нежелательно включать в видовой состав посадок на придомовых территориях. Стоит отметить тот факт, что сосна обыкновенная и ель обыкновенная, имея относительно высокие показатели максимальной суточной концентрации пыльцевых зерен, лучше подходят для зеленых насаждений в черте города, нежели другие ветроопыляемые растения, так как они имеют большие размеры семян — 60…100 мкм. Такие размеры и, соответственно, вес не позволяют пыльце далеко распространяться. Максимальное расстояние распространения составляет от нескольких десятков до сотни метров.

Ученые отмечают, что растения-аллергены вырабатывают пыльцу в основном в ранние утренние часы, поэтому для аллергиков это время является наиболее опасным. Максимальная концентрация пыльцы в воздухе отмечается в теплую солнечную погоду, а дождь и засуха тормозят созревание пыльцы, поэтому аллергики в это время чувствуют себя хорошо.

Методы и материалы, применяемые в работе. Обмер исследуемых участков территории осуществлялся с помощью лазерного дальномера BOSCH GLM 80 Professional, фотофиксация производилась с помощью смартфонов. Полученные данные вносились в журнал измерений. Составлены графические схемы исследуемых участков. Далее рассчитывались индексы аллергенности городских зеленых зон ІАГЗЗ. На основе полученных данных были скорректированы расчетные формулы. Разработано приложение с графическим интерфейсом.

Исследования существующего озеленения придомовых территорий были нацелены: на оценку экологического и аллергенного потенциала элементов озеленения территорий Волгограда; подсчет результатов экологической оценки зеленых насаждений; разработку рекомендаций по оптимизации системы городского озеленения и формирования неаллергенного ландшафта (рис. 1, 2).

Рис. 1. Дворовая территория в границах домов № 20, 20а, 22 по ул. Ковровской, № 7, 9 по ул. Академической, № 25 по ул. Козловской, № 18 по ул. Огарева в Ворошиловском районе Волгограда

Рис. 2. Дворовая территория по ул. Бульвар 30-летия Победы в границах домов № 64, 66 в Дзержинском районе Волгограда

Были выполнены поставленные задачи: визуальный осмотр территорий различного пользования (жилая территория (рис. 3, 4) и общественная территория (рис. 5, 6)); оценка количественного и видового состава существующих деревьев и кустарников (табл. 2—4); анализ аллергенного потенциала некоторых видов существующих растений; подбор композиций растений с низким аллергенным потенциалом для формирования низкоаллергенного ландшафта и применения в профессиональной сфере ландшафтной деятельности [21]. Были обследованы территории озеленения жилой застройки (см. рис. 1, 2) и определен видовой и породный состав озеленения дворов (см. рис. 3, 4; табл. 2, 3).

Таблица 2

Видовой и количественный состав деревьев по ул. Бульвар 30-летия Победы в границах домов № 64, 66 в Дзержинском районе Волгограда

Видовой состав	Количество, шт.
Абрикос обыкновенный	6
Акация розовая	2
Бирючина обыкновенная	4
Вяз приземистый	36
Катальпа обыкновенная	1
Клен ясенелистный	3
Пузыреплодник калинолистный	2
Тополь крупнозубчатый	11

Обследование насаждений в жилой застройке выявило наличие видов растений с высоким аллергенным потенциалом, в основном преобладают ветроопыляемые растения: вязовые (вяз приземистый, гладкий), тополь пирамидальный, клен ясенелистный; встречаются также ясень обыкновенный, береза повислая. Статистические данные показывают, что горожане больше подвержены поллинозу из-за переносимых по воздуху аллергенов пыльцы.

Пыльца разносится ветром, оседает на различных поверхностях зданий и автомобилей, смешивается с выхлопными газами и другими вредными выбросами в атмосферу и попадает в организм. За счет этих примесей опасность пыльцы многократно возрастает, так как повышается ее способность вызывать аллергию.

Рис. 3. Фотофиксация по ул. Бульвар 30-летия Победы в границах домов № 64, 66 в Дзержинском районе Волгограда

Рис. 4. Фотофиксация дворовой территории в границах домов № 20, 20а, 22 по ул. Ковровской, № 7, 9 по ул. Академической, № 25 по ул. Козловской, № 18 по ул. Огарева в Ворошиловском районе Волгограда

Таблица 3

Видовой и количественный состав деревьев в границах домов № 20, 20а, 22 по ул. Ковровской, № 7, 9 по ул. Академической, № 25 по ул. Козловской, № 18 по ул. Огарева в Ворошиловском районе Волгограда

Видовой состав	Количество, шт.
Абрикос обыкновенный	8
Акация розовая	2
Вяз приземистый	67
Клен ясенелистный	4
Тополь крупнозубчатый	17
Ясень обыкновенный	6

Обследование озеленения общественного назначения проводилось на территории Ворошиловского района Волгограда в сквере Саши Филиппова (см. рис. 5, 6). Данные видового и породного состава показали, что и здесь есть аллергенные насаждения (береза повислая, вяз приземистый, др.) (см. табл. 4).

Для оценки опасности, которую городская растительность и концентрация пыльцы в атмосфере представляют для здоровья жителей, страдающих аллергией, крайне важно разработать эффективные рекомендации по проектированию низкоаллергенного городского ландшафта, которыми могут стать:

1) правильный подбор растений и размещение их на участке, на котором должно быть минимум открытого пространства во избежание сильных сквозняков (рис. 7);

2) организация на участке режима частого полива по типу «тумана», повышение влажности, при которой уровень летучести пыльцы снижается (если в ландшафтной композиции присутствуют растения-аллергены) (рис. 8);

3) участок с гипоаллергенными посадками желательно «изолировать», например оградив подросшими лесными деревьями (создать зеленый забор) (рис. 9).

Рис. 5. Территория сквера имени Саши Филиппова (озеленение общественного функционального назначения)

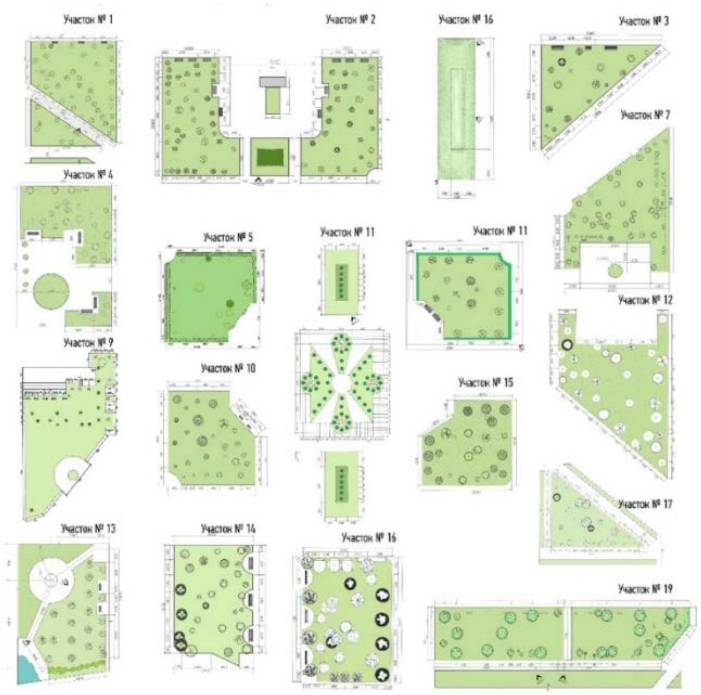


Рис. 6. Схема разбивки территория сквера имени Саши Филиппова по участкам

Таблица 4

Видовой и количественный состав обследованных территорий озеленения различного функционального назначения

Территория	Видовой состав	Количество, шт.	Площадь участка, м^2
Сквер имени Саши Филиппова	Акация обыкновенная, барбарис обыкновенный, береза повислая, вишня войлочная, вяз приземистый, ель обыкновенная, прутовидная ива, катальпа обыкновенная, каштан конский, клен ясенелистный, липа мелколистная, можжевельник казацкий, облепиха любительская, роза ругоза, рябина круглолистная, сосна обыкновенная, сирень обыкновенная, туя западная, тутовник (шелковица белая), ясень обыкновенный	550	21 800
Дворовая территория по ул. Бульвар 30-летия Победы в границах домов № 64, 66	Абрикос обыкновенный, акация розовая, бирючина обыкновенная, вяз приземистый, катальпа обыкновенная, клен ясенелистный, пузыреплодник калинолистный, тополь пирамидальный	65	6600
Дворовая территория в границах домов № 20, 20а, 22 по ул. Ковровской, № 7, 9 по ул. Академической, № 25 по ул. Козловской, № 18 по ул. Огарева	Абрикос обыкновенный, акация розовая, вяз приземистый, клен ясенелистный, тополь пирамидальный, ясень обыкновенный	105	22 500

Рис. 7. Плотная композиция из растений. Проектное предложение, сквер имени Саши Филиппова, 2021

Рис. 8. Мероприятия по повышению влажности. Сквер имени Маргариты Агашиной, 2021

Рис. 9. Изолирование участка с гипоаллергенными посадками. Сквер на Площади Чекистов, 2021

При проектировании сообществ растительности, ориентированных на здоровье, предлагается:

учитывать типы опыления (ТО) насаждений: растения, которые не выделяют пыльцу (сорта, гибриды, сорта), клейстогеймы или растения женского пола; растения преимущественно или исключительно биотического опыления, с низким выбросом пыльцы; смешанная система опыления растений (амбифильная), без какого-либо преобладания одного из них, и умеренно-высоконаполненная эмиссия; ветроопыляемые виды растений, которые производят и выделяют большое количество пыльцы;

производить замену аллергенов на гипоаллергенные растения: мох, ползучую вероннику, живучку, зеленчук, белый клевер, папоротник, барвинок и др. (в кашпо — кактусы, алоэ, агава);

использовать безопасные растения: жимолость, клематис, очитки, колокольчики, флоксы, подснежники, ирисы, крокусы, пионы;

учитывать биометрические параметры растений (диаметр короны, высоту короны) (рис. 10);

при организации газона из традиционных луговых и газонных трав (они считаются настоящими аллергенами) регулярно косить газон и проводить мероприятия по зачистке.

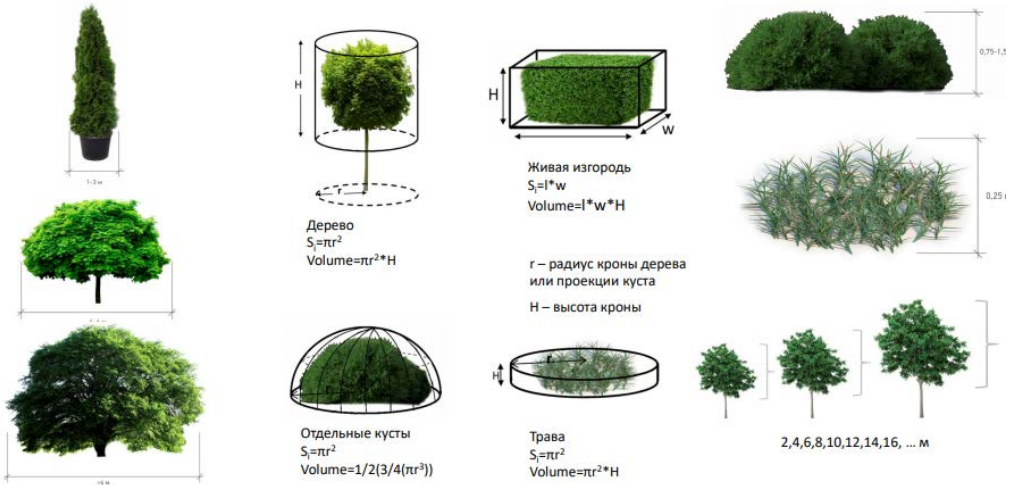


Рис. 10. Биометрические параметры зеленых насаждений

Выводы:

1. Проведено обследование озеленения разного функционального назначения Волгограда: общего пользования, ограниченного пользования и улиц (сквер Саши Филиппова; придомовые территории в Краснооктябрьском районе; территории по Бульвару 30-летия Победы в Дзержинском районе, по улицам Ковровской, Козловской и Огарева в Ворошиловском районе и др.), определен существующий видовой состав насаждений, составлены схемы, таблицы, фотоматериалы.

2. Анализ полученного материала показал, что преобладающими в Волгограде являются ветроопыляемые растения с высокими аллергенными значениями: вязовые (вяз приземистый, гладкий), тополь пирамидальный, клен ясенелистный. Поэтому необходимо строить композиции на основе насекомоопыляемых растений и кустарников (лилейные, бузина, шиповник, зонтичные, спиреи и др.).

3. Разработаны основы ландшафтных приемов организации неаллергенных городских ландшафтов. Предложены рекомендации по подбору композиционных решений низкоаллергенных ландшафтов.

4. На основе разработанных рекомендаций проведено экспериментальное проектирование общественных зон Волгограда (скверы Саши Филиппова, Маргариты Агашиной, на Площади Чекистов), направленное на совершенствование безопасного ландшафта города.

5. Определены дальнейшие направления исследований по формированию низкоаллергенных ландшафтов города. Так, выявилась необходимость в разработке компьютерной программы по проектированию низкоаллергенного озеленения города «Конструктор низкоаллергенного ландшафта» для процесса ландшафтного проектирования. Программа для ЭВМ может стать важным инструментом в работе архитекторов и дизайнеров, связанной с проектированием открытых озелененных пространств и ландшафта города.

Заключение. В 2019—2020 гг. была проведена исследовательская работа по оценке аллергенного потенциала озелененных территорий различного функционального назначения в Волгограде: зеленые посадки на селитебной

территории (обследовано озеленение десяти жилых дворов), ландшафтные композиции в семи зонах общественного пользования (скверы, парки и уличные территории). Анализ результатов натурных исследований выявил большое количество аллергенных растений в ландшафтных композициях.

Учитывая, что озеленение в городском ландшафте оказывает огромное влияние на экологическую обстановку, здоровье жителей и гостей города, были разработаны рекомендации по формированию низкоаллергенного ландшафта и подбору породного состава растений в ландшафтные композиции. Рекомендациями для нового проектирования неаллергенных зеленых территорий города (ограниченного пользования, на придомовых территориях, в парках, скверах и на улицах) и реконструкции существующего озеленения стали:

разработка ландшафтных приемов и вариантов использования породного состава деревьев (кустарников), которые обладают минимальным аллергенным потенциалом (с низким уровнем впитывающих и очищающих свойств);

составление ландшафтных приемов размещения аллергенных растений в древесно-кустарниковых композициях, не вызывающих аллергию у людей;

формирование неаллергенного ландшафта из энтомофильных (насекомоопыляемых) растений, с использованием адаптивных растений, произрастающих в местных природно-климатических условиях.

Рекомендации по подбору низкоаллергенных насаждений могут быть учтены при составлении ландшафтных композиций и использованы при решении экологических задач формирования благоприятной городской среды (располагать деревья с высокими показателями аллергенности в окружении деревьев, способствующих фильтрации пыльцевых частиц; применять в посадках растения, способствующие снижению переноса ветром пыльцевых частиц).

Исследовательская работа получила дипломы 1-й степени на конкурсе научных и социальных проектов «Строим новый город» (2020 и 2021 г.); дипломы 1-й степени на конкурсе научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета (конкурс НИРС ВолгГТУ — 2020 и конкурс НИРС ВолгГТУ — 2021).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Suanno Ch., Aloisi I., Del Duca S.* Monitoring techniques for pollen allergy risk assessment // Environmental Research. 2021. Vol. 197. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121004035.

2. *Kubik-Komar A., Piotrowska-Weryszko K., Lipiec A.* A study on the spatial and temporal variability in airborne Betula pollen concentration in five cities in Poland using multivariate analyses // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 660. Pp. 1070—1078. URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.098.

3. Landscape plant selection criteria for the allergic patient / B. J. Green, E. Levetin, W. E. Horner, R. Codina, Ch. S. Barnes, W. V. Filley // The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice. 2018. Vol. 6. Pp. 1869—1876. URL: https://doi.org/10.1016/j.jaip.2018.05.020.

4. *Kasprzyk I., Ćwik A., Cariñanos P.* Allergenic pollen concentrations in the air of urban parks in relation to their vegetation // Urban Forestry & Urban Greening. 2019. Vol. 46. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866719302171.

5. *Eisenman T. S., Churkina G., Whitlow T. H.* Urban trees, air quality, and asthma: an interdisciplinary review // Landscape and Urban Planning. 2019. Vol. 187. Pp. 47—59. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204618301191.

6. Allergic rhinitis and its impact on asthma (ARIA) 2008 update (in collaboration with the World Health Organization, GA(2)Len and AllerGen) / J. Bousquet, N. Khaltaev, A. Cruz, et al. // Allergy. 2008. Vol. 63. Pp. 8—160. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2007.01620.x.

7. *Thompson J. L., Thompson J. E.* The urban jungle and allergy // Immunology and Allergy Clinics of North America. 2003. Vol. 23. No. 3. Pp. 371—387. DOI: 10.1016/s0889-8561(03)00006-7.

8. *Berger M., Bastl K., Bastl M.* Impact of air pollution on symptom severity during the birch, grass and ragweed pollen period in Vienna, Austria: Importance of O_3 in 2010—2018 // Environmental Pollution. 2020. Vol. 263. URL: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114526.

9. *De Weger L. A., Beerthuizen T., Gast-Strookman J. M.* Difference in symptom severity between early and late grass pollen season in patients with seasonal allergic rhinitis // Clinical and Translational Allergy. 2011. Vol. 1. No. 1. P. 18. URL: https://doi.org/10.1186/2045-7022-1-18.

10. Green space definition affects associations of green space with overweight and physical activity / J. O. Klompmaker, G. Hoek, L. D. Bloemsma et al. // Environmental Research. 2018. Vol. 160. Pp. 531—540. URL: https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.027.

11. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health / D. J. Nowak, S. Hirabayashi, M. Doyle, M. McGovern, J. Pasher // Urban Forestry & Urban Green. 2018. Vol. 29. Pp. 40—48. URL: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019.

12. *Aerts R., Honnay O., Van Nieuwenhuyse A.* Biodiversity and human health: mechanisms and evidence of the positive health effects of diversity in nature and green spaces // British Medical Bulletin. 2018. Vol. 127. Pp. 5—22. URL: https://doi.org/10.1093/bmb/ldy021.

13. Prediction of airborne pollen concentrations for the plane tree as a tool for evaluating allergy risk in urban green areas / B. Lara, J. Rojo, F. Fernández-González, R. Pérez-Badia // Landscape and Urban Planning. 2019. Vol. 189. Pp. 285—295. URL: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.002.

14. *Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В.* Методология планирования ландшафтно-экологической устойчивости природных компонентов в виртуальной модели городской среды // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 167—175.

15. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Влияние рукотворных ландшафтных объектов на совершенствование эколого-эстетической составляющей окружающей среды городов Волгоградской области // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 221—234.

16. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Градо-экологический потенциал формирования подземной архитектуры города // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 472—485.

17. *Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Ландшафтно-экологические особенности формирования комфортной среды умного города (на примере исторического строительства зеленого кольца Сталинграда — Волгограда) // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 49(60). С. 153—166.

18. *Иванова Н. В., Антонова Н. Н.* Ранжирование ландшафтно-эстетических природных достопримечательностей региональных природных парков Волгоградской области // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 210—220.

19. *Дубов И. А., Назаров К. Р., Гуляшова Ю. С.* Инициатива по оценке аллергенного потенциала элементов городской зеленой инфраструктуры города Волгограда // Инновационные технологии в строительстве и ЖКХ — основа формирования городской среды : сб. ст. науч.-практ. конф., 22—28 апр. 2020 г., Волгоград / Под ред. О. В. Бурлаченко и др. Волгоград, 2020. С. 75—77.

20. *Бурулъ Т. Н., Чумаченко А. С.* Оценка состояния древесных насаждений в Центральном районе г. Волгограда // Грани познания. 2015. № 8(42). С. 59—66.

21. Health-oriented vegetation community design: innovation in urban green space to support respiratory health / J. Wu, M. Yang, L. Xiong, C. Wang, N. Ta // Landscape and Urban Planning. 2021. Vol. 205. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204620314560.

© Иванова Н. В., Дубов И. А., Назаров К. Р., Мурадов И. С., 2021

Поступила в редакцию
в марте 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Дубов И. А., Назаров К. Р., Мурадов И. С. Проектирование неаллергенного озеленения урбанизированных территорий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 230—242.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. архитектуры, проф., проф. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

Дубов Игорь Александрович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; dubov_i_architect@mail.ru

Назаров Константин Романович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; nazkostja@gmail.com

Мурадов Илдар Сердарович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; IM.architector@yandex.ru

Nina V. Ivanova, Igor A. Dubov, Konstantin R. Nazarov, Ildar S. Muradov

Volgograd State Technical University

DESIGN OF NON-ALLERGENIC LANDSCAPING OF URBANIZED AREAS

The article is devoted to the design of a non-allergenic city landscape. An assessment was made of the allergenic potential of landscaping elements for various functional purposes in Volgograd (landscaping of residential yards, public spaces; species and species composition of plantings). The basics of designing a low-allergenic landscape and recommendations for optimizing the system of urban plantings for various functional purposes, aimed at improving the safe greening of the city, have been developed. Experimental design of a safe landscape is proposed on the example of the territory of Volgograd.

K e y w o r d s: allergenic potential, green spaces, non-allergenic landscape.

For citation:

Ivanova N. V., Dubov I. A., Nazarov K. R., Muradov I. S. [Design of non-allergenic landscaping of urbanized areas]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 230—242.

About authors:

Nina V. Ivanova — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2472-1705; ivanovaninav@mail.ru

Igor A. Dubov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dubov_i_architect@mail.ru

Konstantin R. Nazarov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; nazkostja@gmail.com

Ildar S. Muradov —Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; IM.architector@yandex.ru

УДК 711.4: 616-036.22

О. А. Растяпина, В. Г. Поляков, Я. Д. Новокщенова, С. А. Чебанова

Волгоградский государственный технический университет

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ СНИЖЕНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИРУСНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

В условиях высокоурбанизированных пространств, характеризующихся высокой плотностью населения и застройки, распространение вирусов достигает значительных масштабов. Для снижения уровня распространения вирусных заболеваний необходимы градостроительные мероприятия, направленные на формирование безопасных и благоприятных условий жизнедеятельности. Такими мероприятиями могут быть: трансформация градостроительной среды с использованием современных «умных» технических решений; расположение необходимых учреждений по оказанию услуг и торговой сферы в непосредственности близости к застройке, в радиусе оптимальной пешеходной доступности; максимальное использование зеленых насаждений, которые, помимо разграничивающих функций, выполняют эстетические и санитарно-гигиенические функции; открытость общественных пространств с учетом разграничения и зонирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пандемия, градостроительные мероприятия при распространении вирусных заболеваний, зонирование общественных пространств, территориальные преобразования урбанизированного пространства в условиях пандемии, COVID-19.

Изначально города формировались для создания благоприятных условий жизнедеятельности и обеспечения более комфортной, качественной жизни жителей. Растущие темпы урбанизации, научно-техническое развитие техники и технологий способствуют модернизации урбанизированной среды. В результате, с учетом изменяющихся требований к урбанизированной среде и соответствующих стандартов, формируются новые подходы к формированию планировочной организации города.

За последние два десятилетия мир столкнулся с несколькими вспышками инфекционных заболеваний. Эбола, грипп А (H_1N_1), ТОРС, БВРС, вирус Зика и, совсем недавно, COVID-19 оказали огромное воздействие с точки зрения экономических потрясений, нагрузки на местные и глобальные ресурсы общественного здравоохранения и прежде всего на здоровье человека. Эти факторы обусловливают необходимость поиска путей защиты населения и формирования безопасной градостроительной среды.

Согласно программе Организации Объединенных Наций по населенным пунктам «ООН-Хабитат», в городах проживает более 55 % населения планеты и к 2050 г., при существующей тенденции, доля городского населения достигнет 70 %. Сегодня в городах создается более 70 % валового мирового продукта. Вместе с тем города стали эпицентрами пандемии COVID-2019: 95 % заражений во время пандемии было выявлено в урбанизированных территориях[1][1]. Это свидетельствует о необходимости планирования процесса

[1] Sustainable Urbanization Critical to COVID-19 Recovery, Better Quality of Life. URL: https://news.un.org/en/story/2020/10/1076532#:~:text=Cities%20have%20been%20at%20the,development%20and%20combating%20climate%20change.

урбанизации. В основе планирования процесса урбанизации должно быть: регулирование землепользования, планируемый рост городов, ограничение разрастания городов и избавление от перенаселенности жилья.

В течение существования цивилизации мир периодически был охвачен различными эпидемиями и пандемиями (табл.)[2][2—6]. Исследователи отмечают факт, что изолированные поселения остались почти не тронутыми. Наибольший ущерб понесли более урбанизированные поселения. Каждая пандемия оставила свои последствия для городов.

Основные пандемии и эпидемии

Период	Название	Территории распространения	Последствия, количество погибших
1346—1353	Черная смерть, бубонная чума	Азия, Европа, Англия, Франция, страны Востока и др.	60 % населения
1629—1631	Итальянская чума	Италия	1 млн чел.
1665—1666	Черная смерть, Великая чума	Великобритания	15 % жителей страны
1720—1722	Марсельская чума	г. Марсель, Франция	100 тыс. чел. (1/3 населения Марселя)
1770—1772	Чума	Россия	100 тыс. чел.
1817—1923	Пандемии холеры	Россия, Испания, Африка, Индонезия, Китай, Япония, Италия, Германия, Америка, Индия, Англия	Более 1 млн чел.
1850	Холера	Англия	
1885—1960	Третья чума	Китай, Индия	15 млн чел.
1889—1890	Азиатский грипп, вирус гриппа А, желтая лихорадка	Россия, Азия, Испания, Гонконг, США	4 млн чел.
1918—1920	Вирус гриппа А, испанский грипп	Европа, США, Азия, Испания	5 % населения Земли
1957—1958	Азиатский грипп	Азия, США, Китай	1,1 млн чел.
1968—1969	Гонконгский грипп	Китай, Европа, США	1 млн чел.
1997	Птичий гриб	1999 — Гонконг, Италия, 2003 — Нидерланды, Юго-Восточная Азия, 2005 — Россия, Европа, 2013 — Китай	С 2003 по 2008 г. — 361 заражение, 227 смертей
2002 (2003)	Атипичная	Китай и еще 26 стран	Погибло 774 чел.

[2] Pandemics that Changed History. URL: https://www.history.com/topics/middle-ages/pandemics-timeline.

Период	Название	Территории распространения	Последствия, количество погибших
	пневмония		
2009	Свиной грипп	Мехико, 2013 — Китай. Регионы распространения: Канада, Кения, Китай, Тайвань, Южная Америка, Япония	200 тыс. чел.
1988, 2006	Полиомиелит	Афганистан, Индия, Нигерия, Пакистан	
2014	Эпидемия лихорадки Эбола	Африка (Сьерра-Леоне, Сенегал, Либерия, Нигерия, Конго, Судан, Уганда), Великобритания, Испания, США, Филиппины, Центральная и Западная Африка	
2019	COVID-19	Мировое пространство	Высокое распространение, большая смертность, тяжелое течение, социально-экономические последствия

При высокой плотности застройки и населения риск заражения различными вирусными и инфекционными заболеваниями возрастает. В результате ежедневного воздействия техногенных нагрузок на население, многочисленных стрессов, испытываемых городскими жителями, иммунитет населения ослаблен. Значительно упрощаются механизмы передачи вирусов, так как взаимодействие большого количества людей происходит постоянно. Ситуация заражения городских жителей может достигать громадных масштабов. Таким образом, необходима разработка нового подхода к проектированию градостроительного пространства и территориальной организации урбанизированных систем. Борьба со снижением распространения вирусов должна быть комплексной и включать не только медицинские, экономические, юридические, но и градостроительные мероприятия, направленные на улучшение качественной среды урбанизированного пространства.

Как показывает проведенный анализ, в периоды эпидемии принимались различные меры планировочной организации городского пространства с целью снижения распространения вирусных заболеваний. Так, после бубонной чумы и Черной смерти были приняты законы о зонировании территории поселения, формировании крупных открытых общественных пространств. После холеры 1850 г. были разработаны мероприятия по управлению сбором отходов на улицах. Д. Базалгетт принял проект по строительству канализационной сети вниз по реке, что снизило вероятность попадания стоков в питьевой водопровод. Одним из проектных решений в 1908 г. было устройство парка Fairmount Park вокруг гидротехнического сооружения на берегу реки в г. Филадельфии. Это позволило уменьшить воздействие города на загрязнение реки и снизить заболеваемость брюшным тифом. В 19 в. было показано, как изменение

городского уклада может способствовать снижению заболеваемости. Внедрение систем фильтрации воды и обезвреживания канализации позволило увеличить плотность населения максимально безопасно. В 1850-х гг. барон Haussman сравнял с землей бедные, пораженные холерой районы Парижа и построил широкие бульвары, водопроводные и канализационные системы и парки. В 1900-х гг., при распространении туберкулеза был принят ряд законов, устанавливающих требования к пространству и санкционирующих вентиляционные шахты, окна, функции пожарной безопасности, проточную воду и внутренние туалеты [7]. После перенесенного странами испанского гриппа и вируса гриппа А был отмечен замедленный рост численности жителей в городах, общественный транспорт был заменен пешими прогулками, для чего формировались специальные бульвары.

В качестве основной проблемы распространения большинства вирусных инфекций ученые отмечают высокую плотность населения. Следовательно, необходим поиск путей решения данной проблемы, а точнее снижения плотности населения [8, 9] и достижения оптимальных параметров урбанизированной среды с целью формирования безопасных микроклиматических условий. В современных условиях в период пандемии COVID-19 необходимо сохранение социальной дистанции, требуется переосмысление планировочной структуры градостроительных систем. Неблагоприятная экологическая ситуация в городах, а также слабо развитый сектор сельскохозяйственной продукции как результат урбанизации приводит к ослаблению иммунных функций в организме человека, делает человека более уязвимым и подверженным заражению различными инфекционными заболеваниями.

Современные условия жизнедеятельности в городах диктуют новые условия распределения привычных функций жизнедеятельности относительно общественного пространства. Основные сферы, определяющие эти функции, — сфера торговли, социальные услуги, медицина — переходят в киберпространство. В условиях урбанизированных пространств основным путем является прежде всего децентрализация городских функций, распределение центров градостроительных систем. Наиболее ярким примером может служить идея «15-минутного города», когда жители могут удовлетворять основные потребности в 15 минутах пешей ходьбы или езды на велосипеде от дома [10]. Необходима разработка новых архитектурно-планировочных решений на формирование пространственной организации элементов градостроительной среды, предназначенной для организации общественной деятельности в городах [2, 11].

Голландская студия Shift Architecture Urbanism разработала модель уличного продовольственного рынка (рис. 1), где люди могут покупать свежие продукты, не вступая в контакт друг с другом во время пандемии.

Зонирование участков пространства возможно за счет использования малых форм озеленения, что также будет способствовать улучшению микроклиматических показателей среды [11].

Примером разграничения пространства зелеными насаждениями может служить парк Parc de la Distance, разработанный архитектурной студией Studio Precht. Несмотря на кажущуюся длительность прогулки по лабиринтам дорожек, определено среднее время прохождения по одному маршруту — 20 мин.

С точки зрения градостроительных и планировочных средств защиты от вирусов необходимо рассматривать аспирационный механизм. То есть в условиях урбанизированной среды (а именно урбанизированная среда более подвержена воздействию вирусов, точнее человек, проживающий в урбанизированной среде) необходимо максимально использовать планировочные средства, способствующие перемещению воздушных масс и, как следствие, увеличению вероятности улетучивания вирусов, содержащихся в атмосфере.

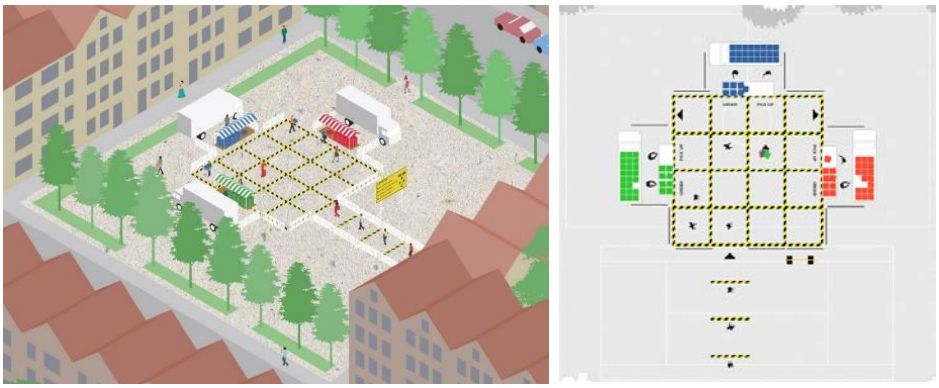


Рис. 1. Модель уличного продовольственного рынка, проект студии Shift Architecture Urbanism [2]

Рис. 2. Parc de la Distance, проект архитектурной студии Studio Precht [12]

В связи с существующей ситуаций распространения COVID-19, вынужденной изоляцией населения и ограничениями перемещения становится более актуальным вопрос трансформации территориального пространства урбанизированной среды. Необходимость расширения возможности дистанционной работы, развитие IT-технологий и сервисов приводят к социально-экономическому изменению среды общества, диктуя новые требования к формированию жилого пространства.

В условиях необходимости снижения плотности населения с целью снижения распространения особо опасных вирусных инфекций необходимо стремиться к рассредоточению потоков жителей, к снижению количества транспортных передвижений и плотности пассажиропотоков. Достичь этого возможно путем организации сферы обслуживания в пешеходном радиусе

доступности, формирования пешеходных путей, бульваров, велодорожек и соответствующей инфраструктуры.

Формирование новых районных поселений на базе существующего города позволит создать умную градостроительную среду, которая реализуется за счет пяти ключевых принципов: ориентация на человека, технологичность городской инфраструктуры, повышение качества управления городскими ресурсами, комфортная и безопасная среда, экономическая эффективность городской среды. Реализация данных принципов в рамках урбанизированной системы позволит создать комфортные, безопасные и благоприятные условия жизнедеятельности в рамках данной системы. На основании формирования данных условий в пределах урбанизированной системы можно судить об эффективности ее развития. Развитие и внедрение в урбанизированную среду IT-технологий способствует увеличению количества работающих дистанционно и, как следствие, снижению транспортной нагрузки на урбанизированную среду.

Периферийное жилье должно отвечать современным требованиям, быть обеспеченно инженерными коммуникациями, обладать развитой коммунально-бытовой инфраструктурой. Как правило, отсутствие социальной инфраструктуры снижает вероятность переселения людей из центральной части на окраины урбанизированной среды. Соответственно, с одной стороны, формирование поселений должно сохранять доступность к элементам урбанизированной среды (здравоохранение, образование и другие социальные учреждения), с другой — относительная удаленность снижает факторы негативного влияния урбанизации на экологию городской среды, что позволяет формировать единую городскую агломерацию. Кроме того, формирование сети поселений позволит сформировать жилье нового уровня, отвечающее современным требованиям энергоэффективности и экологичности.

Таким образом, формирование жилого фонда в периферийной части города с условием создания необходимой инфраструктуры будет способствовать распределению потоков населения в территориальном пространстве урбанизированной среды [13]. Снижение территориальной концентрации населения позволит снизить не только экологическую нагрузку на окружающую среду, но и вероятность распространения особо опасных вирусных инфекций, что в целом способствует устойчивому развитию градостроительной среды [14, 15]. Одновременно следует отметить, что снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду будет способствовать формированию благоприятных экологических условий, а следовательно, более здорового населения. Формирование относительно самостоятельных районов развития урбанизированной системы на периферии города позволит избежать необходимости проведения планировочных преобразований в структуре города [16]. Строительство новых микрорайонов должно осуществляться с учетом имеющихся проектов формирования умной среды, что позволит добиться их соответствия современным требованиям к жилому пространству, отвечающему мировым стандартам, и будет формировать дополнительные конкурентные преимущества.

Строительство новых микрорайонов должно производиться с учетом максимального использования пространства и умных технологий. Современные здания необходимо сделать максимально независимыми, обладающими

собственными системами энергоснабжения, с эффективным использованием открытых пространств и максимальным их озеленением [17], использованием эксплуатируемой кровли, с учетом возможного озеленения, благоустройства или формирования лаундж-зоны для жителей.

Условия пандемии выявили необходимость переосмысления процесса развития урбанизации и достижения устойчивого развития городов, не только посредством использования технических достижений и умных технологий, но и путем грамотного размещения и систематизации градостроительной объектов, рассредоточения населения и, вероятно, формирования малых населенных поселений в периферии городов, но при условии формирования условий жизнедеятельности, необходимых для удовлетворения всех потребностей современного человека. Как показывает исторический опыт, малые поселения могут быть более защищены от природных и техногенных катастроф.

Необходима систематизация общественных пространств, чтобы люди могли перемещаться между различными пространствами, а не циркулировать в одном. Общественное пространство может способствовать расширению альтернативных транспортных сетей. Необходимо стремиться к формированию районов для прогулок, размещению в них рабочих мест. В результате будет достигнуто уменьшение плотности в центральной части и кучности населения в общественных местах. Объединение районов возможно через сформированные сети зеленых насаждений. Зеленые насаждения могут не только улучшать климат и микроклимат района, но и способствовать благоприятному восприятию застройки, а также в условиях социального дистанцирования разграничивать пространство. Ландшафты часто считаются полезными для здоровья человека. С учетом необходимости уделять внимание увеличению зеленых насаждений необходимо также изучить тип и состав ландшафтов. Создание парков и зеленых зон позволит создать безопасные зоны для населения. Современный кризис показал большей части населения необходимость формирования нового подхода к формированию жилых групп и общественного пространства. Современные жилые группы должны включать паркинг, гостевые парковки, комьюнити-центры, летние панорамные террасы на крышах с максимальным озеленением, приватные благоустроенные дворы, учреждения социально-бытового обслуживания населения, быть энергоэффективными и «самостоятельными» в сфере оказания различных услуг и удовлетворения потребностей населения. При этом должно быть максимально сформировано открытое общественное пространство, способствующее снижению чувства изолированности у населения.

Таким образом, зонирование, разграничение общественного пространства, территориальная трансформация урбанизированного пространства, формирование современных жилых комплексов или малых поселений в агломерации с крупными существующими городскими центрами и развитой инфраструктурой будут способствовать снижению плотности населения урбанизированных территорий и транспортных передвижений, улучшению экологической ситуации, повышению уровня здоровья населения и снижению распространения опасных вирусных инфекций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гукасян Г. Л.* Урбанизация и пандемия COVID-2019 в городах мира: утрата преимуществ города или переосмысление городского развития? // Вестн. РУДН. Сер. : Гос. и муницип. управление. 2021. Т. 8. № 1. С. 7—19. DOI: 10.22363/2312-8313-2020-7-4-7-19.

2. *Eltarabily S., Elghezanwy D.* Post-Pandemic Cities — the Impact of COVID-19 on Cities and Urban Design // Architecture Research. 2020. Vol. 10. No. 3. Pp. 75—84. URL: http://article.sapub.org/10.5923.j.arch.20201003.02.html#Sec3.1.

3. *LePan N., Routley M.* Visualizing the History of Pandemics. URL: https://www.visualcapitalist.com/history-of-pandemics-deadliest.

4. *Mahoney E., Nardo D.* The Black Death: Bubonic Plague Attacks Europe. Greenhaven Publ. LLC, 2016.

5. *Hays J. N.* Epidemics and pandemics: their impacts on human history. ABC-Clio, 2005.

6. *Rinde M.* How Philly's neighborhoods can help us understand pandemics. URL: https://whyy.org/articles/how-phillys-neighborhoods-can-help-us-understand-pandemics.

7. *Perry G., De Silva G.* Urbanization in the Age of Pandemic. URL: https://www.newsecuritybeat.org/2020/05/urbanization-age-pandemic.

8. *Растяпина О. А.* Направления оценки градостроительной безопасности // Интернет-вестн. ВолгГАСУ. 2015. № 4(40). С. 9.

9. *O'Sullivan F.* Paris Mayor: It's Time for a "15-Minute City". URL: https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-02-18/paris-mayorpledges-a-greener-15-minute-city.

10. *Frearson A.* Shift Architecture Urbanism Designs Social Distancing into the Food Market. URL: https://www.dezeen.com/2020/04/03/shift-architecture-urbanismdesigns-social-distancing-into-the-food-market.

11. *Етеревская И. Н., Сиренко Н. В.* Ландшафтно-градостроительная организация рекреационных зон в структуре приречной территории города // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 157—167.

12. *Сочалин О.* Parc de la Distance — современный парк, обеспечивающий социальное дистанцирование. URL: https://www.architime.ru/news/studio_precht_1/parc_de_la_distance.htm#1.jpg.

13. *Прокопенко В. В., Ганжа О. А., Растяпина О. А.* Формирование экологических поселений на территории Волгоградской области // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 233—245.

14. *Иванов А. С., Жабин Н. В., Момджиян В. П.* Особенности регулирования устойчивого развития города // Экономика и социум. 2016. № 10(29). С. 232—235.

15. *Иванова Н. В., Брехов Е. М.* Особенности развития архитектуры городов после пандемии коронавируса // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 190—199.

16. *Павлов К. В.* Анализ и оценка развития эколого-экономических систем пригородных районов // Вопросы территориального развития. 2017. № 3(38). С. 3.

17. *Растяпина О. А., Новокщенова Я. Д.* Точечные системы озеленения городских территорий как средство, способствующее улучшению экологии городской среды // Современные проблемы биологии и экологии : материалы докл. III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения Ш. И. Исмаилова. Махачкала, 2021. С. 428—431.

© Растяпина О. А., Поляков В. Г., Новокщенова Я. Д., Чебанова С. А., 2021

Поступила в редакцию
в сентябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Растяпина О. А., Поляков В. Г., Новокщенова Я. Д., Чебанова С. А. Градостроительные мероприятия урбанизированной среды, способствующие снижению распространения вирусных заболеваний в условиях пандемии // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 243—251.

Об авторах:

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; o_kast@list.ru

Поляков Владимир Геннадьевич — д-р экон. наук, проф., декан факультета строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polana@mail.ru

Новокщенова Ярослава Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Чебанова Светлана Александровна — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sveta_nes@mail.ru

Oksana A. Rastyapina, Vladimir G. Polyakov, Yaroslava D. Novokshenova, Svetlana A. Chebanova

Volgograd State Technical University

URBAN PLANNING ACTIVITIES OF THE URBANIZED ENVIRONMENT CONTRIBUTING TO REDUCING THE SPREAD OF VIRAL DISEASES IN PANDEMIC CONDITIONS

In highly urbanized spaces, with high population density and development, the spread of viruses reaches a significant scale. To reduce the spread of viral diseases, urban planning measures are needed to create safe and favorable living conditions. Such measures can be the transformation of the urban planning environment using modern "smart" technical solutions; the location of the necessary service and trade institutions in proximity to development, within the radius of optimal pedestrian accessibility; maximum use of green spaces, which, in addition to distinguishing functions, perform aesthetic and hygienic functions; openness of public spaces, taking into account delimitation and zoning.

K e y w o r d s: pandemic, urban planning measures in the spread of viral diseases, zoning of public spaces, territorial transformations of urbanized space in pandemic conditions, COVID-19.

For citation:

Rastyapina O. A., Polyakov V. G., Novokshenova Ya. D., Chebanova S. A. [Urban planning activities of the urbanized environment contributing to reducing the spread of viral diseases in pandemic conditions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 243—251.

About authors:

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; o_kast@list.ru

Vladimir G. Polyakov — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polana@mail.ru

Yaroslava D. Novokshenova — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Svetlana A. Chebanova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sveta_nes@mail.ru

УДК 712.25 (210.5)

И. Н. Етеревская, Чан Тхи Зиеу Тхао

Волгоградский государственный технический университет

ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ПЛАНИРОВОЧНУЮ СТРУКТУРУ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ г. ДАНАНГ, ВЬЕТНАМ)

Проведен пофакторный анализ и обобщены основные проблемы современного состояния прибрежных территорий г. Дананг (Вьетнам). Обоснована актуальность ландшафтно-экологического и социально ориентированного подходов к развитию данных ценных городских территорий. Предложены научно обоснованные подходы к ландшафтно-градостроительной организации прибрежных территорий как главных связующих элементов компенсирующей природы, формируемых между урбанизированными территориями и природной доминантой — рекой. Сформулированы принципы их организации, приемы и модели развития и интеграции в планировочную структуру центра города с учетом природно-климатических особенностей реки Хан г. Дананг (Вьетнам).

К л ю ч е в ы е с л о в а: прибрежная территория, ландшафтно-градостроительная организация, рекреационная зона, принципы развития прибрежных территорий.

Прибрежные территории обладают значительным природно-рекреационным потенциалом, являются носителем исторических типов городских ландшафтов и могут рассматриваться как основа для идентификации среды современного города [1—5].

В ходе исторического развития планировочной структуры города именно береговые территории отличались максимальной степенью освоения, поэтому в современных условиях характеризуются наиболее заметной деградацией. Наиболее остро эта проблема встает в центре города, где наблюдается максимальная плотность застройки и контрастные сочетания разных функций. Прибрежные территории являются своеобразной буферной зоной между природной доминантой — рекой и урбанизированной городской застройкой, и их эффективная ландшафтная организация будет способствовать повышению устойчивости городской среды [6, 7]. В современном городе прибрежные территории рассматриваются как территориальный резерв для размещения новых общественных пространств, объектов озеленения, разнообразных форм социальной активности [8—10]. Однако, несмотря на это, в крупных городах они все чаще подвергаются стихийной застройке, становятся малопривлекательными для населения, расположены неравномерно, не имеют четкой структуры и логического обоснования. Это заметно снижает качество жизни горожан, отрицательно влияет на экологическую обстановку на прибрежной территории и в городе в целом.

Подобная ситуация характерна и для прибрежных территорий реки Хан города Дананга — центрального и самого крупного города в Центральном регионе Вьетнама. Это связано прежде всего с большой антропогенной и техногенной нагрузкой в береговой зоне и ее постепенной деградацией, в связи с чем существует потребность в комплексной организации прибрежного пространства, не создающей конфликта между природой и человеком. Непрерывная система многофункциональных общественно-рекреационных

пространств реки Хан впоследствии может стать важнейшей составляющей экологического каркаса Дананга.

Исходя из всего вышеперечисленного, становится актуальной разработка научно обоснованного подхода к ландшафтно-градостроительной организации прибрежных территорий, выработка принципов их организации, приемов и моделей развития с учетом природно-климатических особенностей на примере реки Хан в границах центра Дананга.

Таким образом, основными задачами исследования являются:

изучение исторической эволюции развития прибрежных территорий реки Хан (г. Дананг);

изучение опыта ландшафтно-градостроительного освоения данных прибрежных территорий;

анализ перспектив развития прибрежных территорий реки Хан в соответствии с утвержденным Генеральным планом Дананга;

анализ существующего состояния прибрежных территорий центра Дананга, факторов и предпосылок, влияющих на их организацию;

выработка принципов ландшафтно-планировочной организации прибрежных территорий реки Хан;

разработка типологии общественных рекреационных пространств в прибрежной зоне города;

разработка моделей организации рекреационных пространств в прибрежной зоне центра Дананга;

разработка рекомендаций по формированию и развитию прибрежных территорий для разных градостроительных ситуаций.

Объектом исследования являются функционально связанные территории, прилегающие к реке Хан в центре города, основное назначение которых заключается в создании оптимальных условий для организации общественных пространств и увеличении природных компонентов городского ландшафта.

Предметом исследования являются подходы к разработке принципов и методов ландшафтно-градостроительной организации прибрежных территорий центра города с ориентацией на модель устойчивого развития (на примере реки Хан, Дананг, Вьетнам).

Границы исследования определяются пространственно-планировочными, ландшафтными, экологическими, эстетическими аспектами формирования среды характерных типов прибрежных территорий центра Дананга.

В условиях быстрой урбанизации внимание к развитию прибрежных ландшафтных территорий становится глобальной тенденцией, которая все более активно стала проявляться и в регионе Юго-Восточной Азии. В Сингапуре, Китае, Южной Корее накоплен серьезный опыт успешной реализации проектов активного включения прибрежных ландшафтов в планировочную структуру современного города[1].

[1] A New Waterline for Shanghai, 2018. URL: http://landezine.com/index.php/2018/02/a-new-waterline-for-shanghai-by-agence-ter.

Hyeon-Chan Park. Landscape Management Policy for Better Seoul, 2017. URL: https://seoulsolution.kr/en/content/6303.

Пейзаж реки Хан — Сеул. URL: http://dulich.vnexpress.net/photo/anh-video/nguoi-dan-seoul-do-xo-cam-traiben-song-han-2995801.html.

Шанхай. Пудун и река Хуанпу. URL: https://mik25.livejournal.com/115701.html.

На основе анализа опыта освоения береговых территорий в регионе Юго-Восточной Азии можно выделить три основных направления их развития: урбанистическое, ландшафтное и интегрированное. Последнее является наиболее перспективным подходом к преобразованию и развитию прибрежных территорий. Сочетая в себе качества урбанизированной и ландшафтной среды, данное направление позволяет как восполнять утраченную ландшафтную составляющую, так и создавать новые общественные, пешеходные и рекреационные пространства.

Проведенный анализ позволяет выделить основные характерные приемы ландшафтно-градостроительной организации прибрежных территорий:

1. Организация планировочных и визуальных связей объектов архитектуры и пейзажей по обе стороны реки создает особый запоминающийся образ и узнаваемые элементы среды.

2. Речное пространство является крупнейшим общественным открытым пространством в городе — музеем под открытым небом для демонстрации архитектурных и художественных объектов.

3. Прибрежные архитектурные объекты являются носителями местных культурных особенностей и истории.

4. Мосты — произведения искусства и инженерных технологий, которые украшают реки и создают непрерывную систему коммуникаций.

5. Комплексное использование средств ландшафтного дизайна и искусственного освещения создает уникальный образ элементов прибрежной среды и способствует формированию определенного психоэмоционального настроя.

6. Высота, силуэт и пропорции прилегающей застройки гармонично связаны с шириной и характером русла реки, что способствует созданию дружелюбной среды, сомасштабной человеку.

7. Особое внимание уделяется вопросам экологического состояния и устойчивого развития береговых территорий.

8. Общественное пространство вдоль рек является местом концентрации культурных мероприятий, отдыха, туризма и экскурсий.

Совместное использование данных приемов преобразования прибрежных территорий рассматривается как инструмент гармоничного включения прибрежных территорий в современную планировочную структуру и социальную жизнь города, как условие устойчивого развития городской среды.

В рамках повышенного внимания к вопросам экологии и воссоздания природных ландшафтов стало актуальным исследование современного состояния и основных направлений развития городских прибрежных территорий реки Хан в Дананге. Город Дананг является крупным центром общественной активности и местом сосредоточения объектов инфраструктуры; на всем протяжении его становления и развития река Хан была неотъемлемой частью городского пространства, главной пространственной осью центральной части города, центром социальной и экономической жизни, символом связи между прошлым, настоящим и будущим[2]. Однако в последние десяти-

[2] URL: https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/ly-luan-phe-binh-kien-truc/song-han-dong-chay-bat.html.

URL: https://web.facebook.com/Dothoducthanh86/posts/315361588935714/?_rdc=1&_rdr.

летия, несмотря на важный градостроительный и социальный статус прибрежных территорий, экологическая ситуация вокруг реки Хан сильно обострилась[3], из-за неэффективного использования эта территория становится все менее привлекательной для населения. Магниты притяжения горожан расположены неравномерно, не имеют четкой и логичной структуры[4]. Такая ситуация делает актуальным поиск новых ландшафтно-градостроительных решений по преобразованию приречных территорий города.

С целью формулирования принципов и методов интеграции прибрежных ландшафтных территорий в планировочную структуру современного города и разработки предложений по их преобразованию и дальнейшему развитию был проведен пофакторный анализ территорий по следующим направлениям: функциональное насыщение, планировочные особенности, пешеходная и транспортная доступность территории, экологическое состояние ландшафта, эстетическое состояние территории.

В границах Дананга река Хан отличается показателями, характерными для региона центрального побережья Вьетнама: короткие долины, крутые склоны, колебания уровня воды и большие потоки воды, аллювиальная бедность. Река Хан (Хан Гианг) имеет длину около 7,2 км, ширину 900…1200 м, среднюю глубину 4…5 м. Самый высокий уровень воды +3,45 м (1964), самый низкий уровень воды +0,25 м. Со строительством сооружений вдоль реки многие ее участки были сужены, уровень воды поднялся, что стало причиной увеличения скорости потока.

Анализ функционального насыщения и пространственно-планировочной организации выявил недостаточно эффективное использование данных уникальных городских территорий. Большая часть участков, прилегающих к воде, занята не свойственными для центра города и не востребованными в современных условиях функциями (ветхая застройка, пустыри, объекты промышленного и коммунально-складского назначения) либо подверглась экстенсивному освоению со стихийным размещением высотной застройки. Большая часть территорий, прилегающих к реке, не приспособлена для организации коммуникаций горожан и разнообразной рекреационной деятельности, что привело к оторванности прибрежной зоны от основных социальных процессов города. Организация прибрежных рекреационных зон в структуре городского центра отличается неравномерностью, неорганизованностью и разрозненностью, наблюдается слабое развитие общественно-деловых и обслуживающих функций (рис. 1).

В ходе анализа состояния транспортно-пешеходной инфраструктуры установлен недостаточно высокий уровень освоения территории с точки зрения организации транспортных связей, равномерной сети пешеходных маршрутов и комфортного пешеходного движения. Увеличение количества автомобилей на прибрежных территориях города привело к ряду проблем (угроза безопасности участников движения, отсутствие мест организованного хранения автомобилей).

[3] URL: https://moitruong.net.vn/da-nang-dong-song-han-ngap-tran-beo-rac-thai.

[4] URL: https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/kientruc-xahoi/suy-nghi-ve-cau-truc-khong-gian-do-thi-da-nang.html.

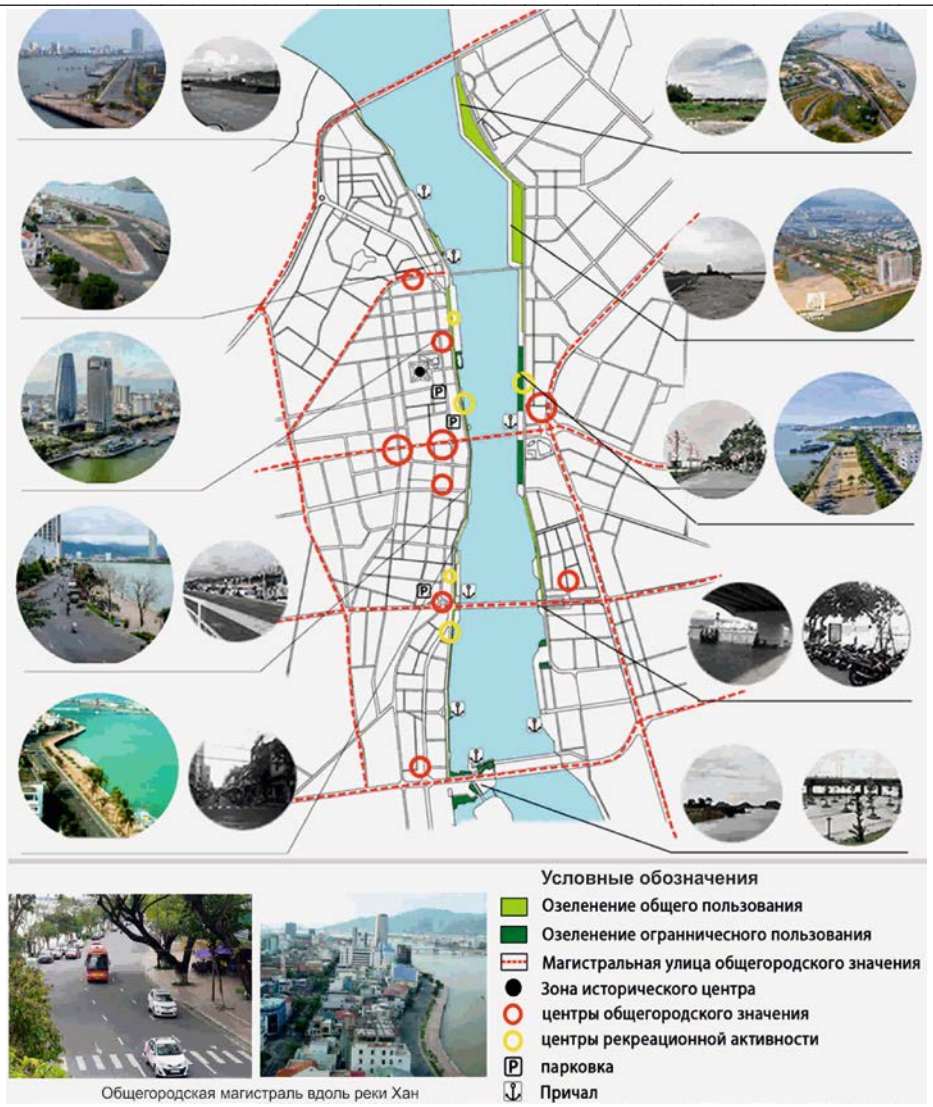


Рис. 1. Пространственно-планировочная структура прибрежных территорий реки Хан центра Дананга, Вьетнам

Натурные исследования выявили неблагоприятную экологическую ситуацию и значительную деградацию природного ландшафта для большинства прибрежных территорий Дананга, отсутствие системного подхода в формировании водно-зеленого диаметра города, что крайне негативно отражается на экологических характеристиках городской среды и сводит к минимуму возможности реализации рекреационных потребностей населения. Установлено значительное отклонение от нормативных показателей уровня загрязнения воздушного бассейна. Экстенсивное освоение прибрежных территорий привело к значительному сокращению площадей озелененных и водных участков. Из-за низкого уровня развития технологий очистке сточных вод на прилегающих транспортных магистралях на протяжении последних десятилетий не уделялось должного внимания.

На основе проведенного анализа существующего состояния прибрежных территорий реки Хан выявлены следующие проблемы:

1. Отсутствует долгосрочная стратегия планирования развития города в тесной связи с рекой.

2. Недостаточное количество рекреационных зон, низкий уровень функциональной организации, отсутствие четкого коммуникационного каркаса, единой системы благоустройства и озеленения территорий у воды.

3. Не решены вопросы сезонной организации отдыха в прибрежной зоне.

4. Низкий эстетический уровень ландшафтов прибрежных территорий, безликость и отсутствие узнаваемых элементов среды.

По результатам анализа современного состояния предложена типология прибрежных территорий реки Хан, выделено три типа территорий исходя из различий в рельефе и планировочных характеристиках, специфических особенностей размещения, взаимодействия и группировки функций и сохранности элементов ландшафта (рис. 2).

Рис. 2. Типология прибрежных территорий реки Хан в границах центра Дананга, Вьетнам

Учитывая выявленные в ходе натурных исследований проблемы, были сформулированы принципы интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру города (рис. 3):

1. *Принцип экологической позитивности* — признание приоритета задач экологии на всех этапах ландшафтно-градостроительной организации рекреационных зон: при зонировании территории, прогнозировании рекреационных нагрузок и интенсивности рекреационного использования, функциональной организации, выборе средств озеленения и благоустройства.

2. *Принцип эстетической гармонизации* — совершенствование воспринимаемых человеком визуальных качеств прибрежной среды в целях достижения композиционного единства зданий, системы зеленых насаждений, средств визуальной ориентации, элементов ландшафтного дизайна.

Рис. 3. Принципы интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру города (на примере реки Хан, Дананг, Вьетнам)

3. *Принцип функционального разнообразия* — пространственное, художественное и средовое разнообразие рассматривается как основа длительной профильной эксплуатации и создания устойчивой рекреационной функции в прибрежной зоне за счет использования природно-ландшафтных особенностей территории, внедрения широкого спектра функций и повышения эстетических качеств среды за счет использования средств ландшафтного дизайна.

4. *Принцип пространственного единства* — предполагает создание единой системы открытых пространств рекреационного назначения, объединенных различными способами (посредством перетекания одного в другое, прямых и косвенных связей), что способствует повышению экологической устойчивости территории и удобству функционального использования.

5. *Принцип структурной дифференциации* — предполагает разграничение пространства: по уровням антропогенной нагрузки; по зонам режимной реконструкции; по степени преобразования природных компонентов ландшафта в искусственные; разграничение пространств с различными функциями, характером и интенсивностью использования; разграничение пространств с остроконфликтными функциями.

6. *Принцип максимально открытого пространства* — развитие сети существующих дорог и расширение транспортных маршрутов, повышение доступности прибрежных территорий для пешеходов, создание системы рекреационных пространств, организация связей человека с природой.

7. *Принцип формирования городской идентичности* — организация среды с учетом природно-климатических особенностей, культурной и исторической ценности среды, использование узнаваемого колорита, национальных элементов, традиционных материалов для оформления общественных пространств. Городская идентичность представляет собой символический ресурс города как основу конструирования городской среды. Привлекательный образ города строится на основе позитивной и устойчивой идентичности.

Организация прибрежных территорий в соответствии с установленными принципами будет способствовать улучшению архитектурного и планировочного качества городской территории по всей прибрежной территории, ускорению ландшафтной трансформации среды прибрежного города Дананга.

Все предлагаемые преобразования должны быть экологически позитивными, социально адаптируемыми, функционально и пространственно разнообразными, учитывающими эстетические характеристики и национальные особенности региона. Исходя из этого предложены следующие методы преобразования прибрежных территорий:

1. *Метод реструктуризации набережных* заключается в разграничении уличного пространства с выделением безопасных полос движения для общественного транспорта и пешеходов. Для этого необходимо определить основные элементы набережной, такие как: природный ландшафт, коммуникационное пространство, общественные зоны различного функционального назначения. Использование данного метода продиктовано необходимостью разделения пространства по типам его использования с возможностью включения компонентов измененного природного каркаса.

2. *Метод функционального зонирования* предусматривает разделение пространства, с выделением участков для развлекательных функций. С учетом плотности застройки и плотности населения и его социального состава

предлагаются различные виды развлекательных мероприятий сезонного и круглогодичного использования. Предусмотрено чередование различных функциональных зон, создание связи между окружающей средой и людьми, создание зеленых зон для активных развлечений жителей города.

3. *Метод многоуровневого расслоения* предусматривает возможность трансформации уже существующих и вновь проектируемых городских пространств путем создания в них нескольких уровней для расположения продольных и поперечных магистралей, организации набережных и площадей города.

4. *Метод ландшафтной ориентации* заключается в создании ландшафтно-опознавательных элементов, характерных для прибрежного центра города. Предлагаемый метод предусматривает создание городских акцентов с учетом множества зеленых массивов, каждый из которых будет способствовать ориентация движения в структуре функциональных зон, созданию определенного психоэмоционального состояния посетителей. Метод сформирует характерный набор природных элементов, способствующих созданию зон психологической разгрузки для участников движения, и поможет создать выразительное, неповторимое пространство с высокими эстетическими характеристиками.

5. *Метод уникальности и узнаваемости места* предусматривает сохранение и развитие символов места, восстановление и дальнейшее развитие существовавших ранее знаковых исторических объектов, символов места на приречной территории; создание новых символов места — размещение знаковых объемных и ландшафтных объектов, а также уникальных пространственных ориентиров для создания своеобразия и узнаваемости среды с учетом национальных традиции и местного колорита; повышение эстетических показателей через использование, сохранение и восстановление природного своеобразия ландшафтов территории, благоустройство и озеленение прибрежной территории с использованием современных приемов ландшафтного дизайна, применение разнообразного дендросостава, оптимального для условий города.

В соответствии с градостроительной ситуацией в Дананге разработана типология реконструируемых прибрежных зон в структуре центра города, на основании которой предложены модели ландшафтно-градостроительной интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру города (рис. 4).

Первая модель (1-й территориальный тип). К этой категории относится прибрежная территория центральной части района Хайчау, зона В на юге и востоке. Эта модель организации прибрежной территории разрабатывается для участков с максимальным сохранением элементов природного ландшафта, предусматривается незначительная плотность застройки. Около 50 % территории отведено под ландшафтные участки; прилегающая застройка предусматривает развитие с тяготением к воде, около 55 % территории остается в виде резервных ландшафтов. Особое внимание уделяется сохранению природных ландшафтов и минимизации застройки и дорожной сети.

Вторая модель (2-й территориальный тип) развития предлагается для территорий, находящихся в деградирующем состоянии из-за утраты своей изначальной функции. В Дананге такая ситуация наблюдается в прибрежной зоне А восточной части центра города. Предлагаемая модель предусматривает функциональное насыщение: развитие территории с преобладающей жилой застройкой в сочетании с тяготеющими к ним общественными пространствами, территорий смешанной застройки; не предполагается развитие общественно-деловых функций.

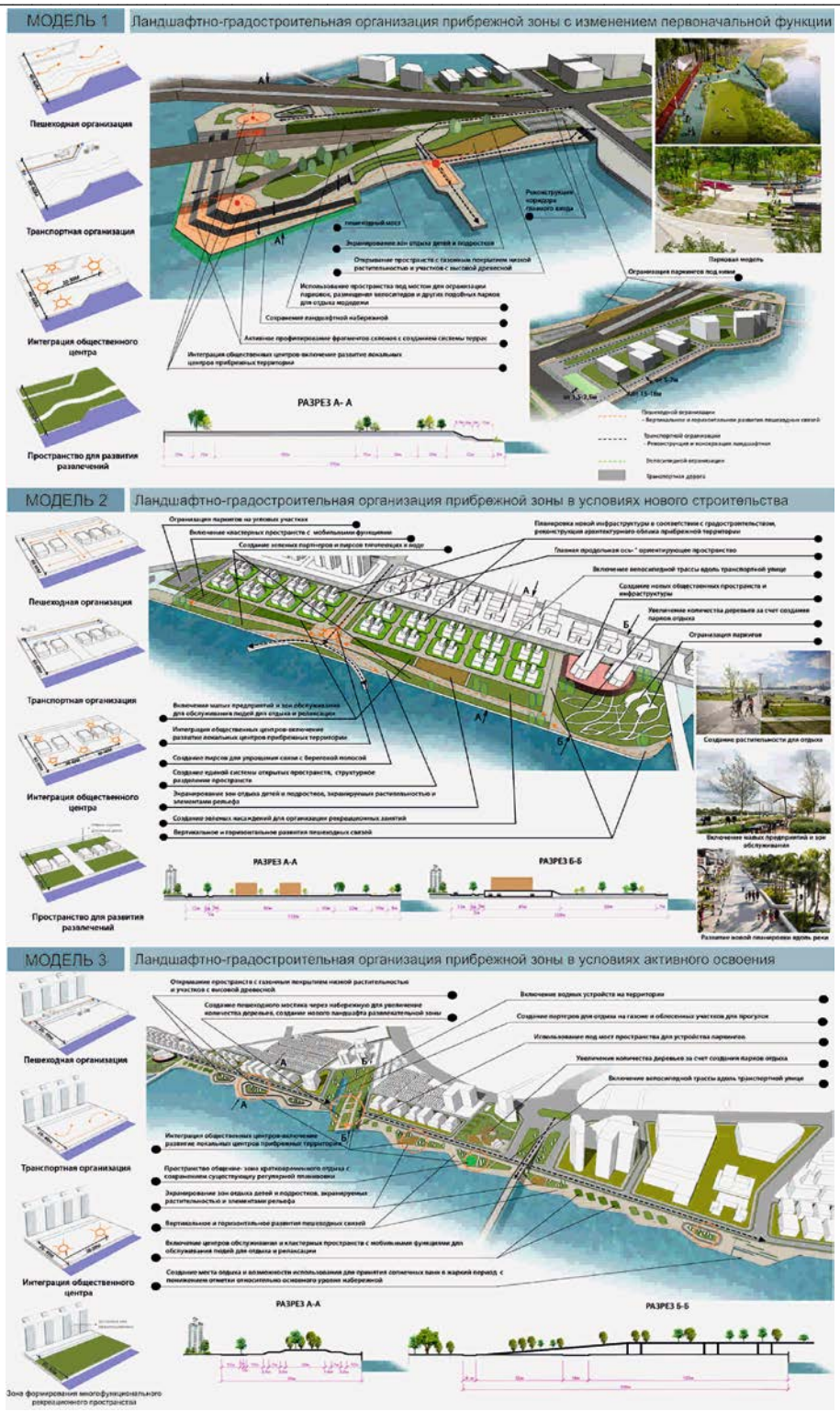


Рис. 4. Модели интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру города для условий Дананга

Третья модель (3-й территориальный тип) формируется на основе территории набережных, находящихся в непосредственном контакте с регулярной уличной сетью на рельефе, в настоящий момент потерявших свою актуальность. К этой категории относится прибрежная территория центральной части района Хайчау в прибрежной зоне Б. Эта территория уже сформирована, наиболее урбанизирована, характеризуется максимальной плотностью застройки и дорожной сети. На данном участке необходимо: развитие недостающих рекреационных функции; сохранение и улучшение существующей территории транспортной и технической инфраструктуры; дополнение отдельных элементов среды и улучшение ее эстетических характеристик.

Таким образом, каждая из предлагаемых моделей интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру города содержит комплекс наиболее оптимальных методов и приемов, ориентированных на разностороннее развитие и оздоровление прибрежной территории. Предлагаемые модели объединяют группы экологических и ландшафтных мероприятий, ориентированных на воспроизводство и целенаправленное воздействие на природный потенциал территории и отвечающих задачам поддержания динамичного экологического равновесия, направленных на решение вопросов функционального насыщения береговой зоны, оптимизацию транспортно-пешеходного движения, озеленение и благоустройство территорий, улучшение их коммуникативных и эстетических характеристик.

Данный комплексный подход особенно актуален для современных приречных городов и необходим для обеспечения полноценного функционирования и рекреационного использования прибрежных территорий с сохранением экологического равновесия в расчете на долгосрочное устойчивое развитие прибрежной территории и города в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Большаков А. Г.* Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории : автореф. дис. … д-ра архитектуры : 18.00.01. Иркутск, 2003. 46 с.

2. *Большаков А. Г.* Проектирование городской набережной. Иркутск : Изд-во ИрГтУ, 2009. 120 с.

3. *Задворянская Т. И.* Ландшафтно-градостроительная организация рекреационных зон в структуре прибрежных территорий крупных городов (на примере Воронежа) : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.04. СПб., 2009. 22 с.

4. *Вязовская А. В.* Аспекты преобразования и развития городских приречных территорий : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.04. М., 2012. 24 с.

5. *Маташова М. А.* Эколого-градостроительная оптимизация приречных территорий (на примере г. Хабаровска) : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 05.23.22. СПб., 2011. 25 с.

6. *Красильникова Э. Э.* Ландшафтный урбанизм. Теория — практика : моногр. Волгоград : Областные вести, 2015.

7. *Нефедов В. А.* Городской ландшафтный дизайн. СПб. : Любавич, 2012. 320 с.

8. *Talavera-Garcia R., Soria-Lara J. A.* Q-PLOS, developing an alternative walking index. A method based on urban design quality // Cities. 2015. Vol. 45. Pp. 7—17.

9. *Boyle A., Barrilleaux C., Scheller D.* Does walkability influence housing prices? // Social Science Quarterly. 2014. Vol. 95. No. 3. Pp. 852—867.

10. *Етеревская И. Н.* Проблемы реконструкции городской среды. Формирование городских общественных пространств : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГТУ, 2019. 119 с.

© Етеревская И. Н., Чан Тхи Зиеу Тхао, 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Етеревская И. Н., Чан Тхи Зиеу Тхао. Принципы интеграции прибрежных территорий в планировочную структуру современного города (на примере г. Дананг, Вьетнам) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 252—263.

Об авторах:

Етеревская Ирина Николаевна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; eterevskaya_irina@mail.ru

Чан Тхи Зиеу Тхао — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; dieuthao237@gmail.com

Irina N. Eterevskaya, Tsan Thi Dieu Thao

Volgograd State Technical University

PRINCIPLES FOR THE COASTAL AREAS INTEGRATION INTO THE MODERN CITY PLANNING STRUCTURE (USING THE EXAMPLE OF DANANG, VIETNAM)

A factor-by-factor analysis is carried out and the main problems of the coastal territories of Danang (Vietnam) current state are summarized. The urgency of landscape-ecological and socially-oriented approaches to the development of these valuable urban areas has been substantiated. Scientifically grounded approaches to the landscape and urban planning organization of coastal areas as the main connecting elements of compensating nature, formed between urbanized areas and the natural dominant — the river, are proposed. Their organization principles, methods and models of development and integration into the city center planning structure, taking into account the natural and climatic characteristics of the Han River in Danang (Vietnam), have been formulated.

K e y w o r d s: coastal territories, landscape and urban planning organization, recreational zone, principles of coastal territories development.

For citation:

Eterevskaya I. N., Tsan Thi Dieu Thao. [Principles for the coastal areas integration into the modern city planning structure (using the example of Danang, Vietnam)]. *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], 2021, iss. 4, pp. 252—263.

About authors:

Irina N. Eterevskaya — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eterevskaya_irina@mail.ru

Tsan Thi Dieu Thao — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; dieuthao237@gmail.com

УДК 711.61

О. А. Шаронова[а], А. В. Антюфеев[б]

[а] ООО «Научно-исследовательский и проектный институт „Русстройпроект“»
[б] Волгоградский государственный технический университет

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ РЕОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ПРИМЕРЕ РЕНОВАЦИИ СКВЕРА им. СИМБИРЦЕВА В СТАЛИНГРАДЕ — ВОЛГОГРАДЕ

Статья посвящена исследованию общественных пространств Волгограда. В качестве наиболее яркого примера такого пространства рассмотрен сквер им. Симбирцева в Центральном районе города-героя. Выявлены проблемы и раскрыт потенциал территории в градостроительном, функциональном и социальном аспекте. Разработаны предложения по более эффективному включению территории сквера в общественную жизнь города. Разработано проектное предложение по функционально-градостроительной реабилитации этого важного общественного пространства.

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительство, архитектура, общественные пространства, городская среда, реабилитация, сквер.

«Общественное пространство — это пространство общения и социальной активности, организованное в соответствии с функцией» [1, с. 20]. Общественным пространством может быть коммуникативное место, например площади, улицы, переулки, парки, скверы, набережные. На сегодняшний день индустриальные города могут функционировать без общественных пространств, однако с ними города наиболее полно обеспечивают экономическое и социальное развитие. В этом процессе ключевую роль играют коммуникации и социальные контакты.

«В течение всего XX века происходили архитектурно-пространственные изменения общественных пространств городов, что объясняется появлением новых форм социокультурной жизни общества» [2, с. 524]. Определяющими характеристиками общественного пространства являются общественная доступность и открытость для горожан, обеспечение возможностей для социальных коммуникаций. В аспекте градостроительной организации общественное пространство является открытым местом, ограниченным застройкой и ландшафтными объектами.

При восстановлении разрушенного Сталинграда сформировалась система общественных пространств, которые отличала застройка, основанная на ансамблевости, территориальной сбалансированности, оптимальной функциональной организации, что обеспечивало их активное включение в общественную жизнь.

Рассматривая историческую центральную часть Волгограда, следует отметить непрерывную пешеходную цепь общественных пространств ансамблевой застройки, в которой отражается целостность и функциональная структурированность (рис. 1). Такая планировочная система застройки была достигнута главным архитектором Сталинграда В. Н. Симбирцевым, который подвергался резкой критике, поскольку осуществлял строительство преиму-

щественно на окраинных участках города, тогда как в центре не было ни одного законченного квартала. Заслуга главного архитектора, как показало время, состояла в том, что он уберег центр города от скоропалительных решений. Нужно было время, чтобы у проектировщиков «вызрели» главные ансамбли центра. И они появились — это площадь Павших Борцов, ул. Мира, Аллея Героев, набережная Волги [3, с. 314].

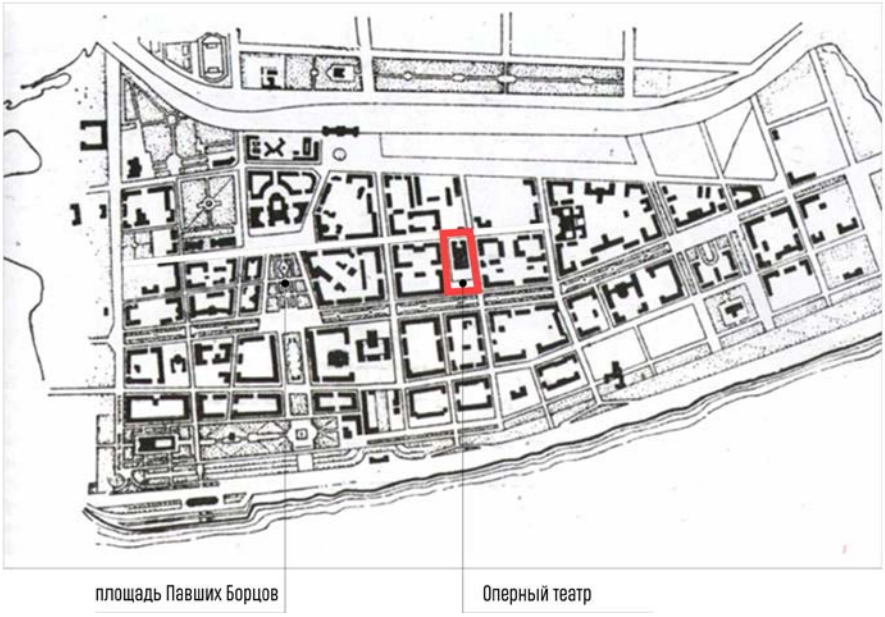


Рис. 1. Проект планировки Сталинграда. 1949 г. Арх. В. Симбирцев, И. Фиалко

В связи с изменением экономической модели и переходом от индустриального города к постиндустриальному городская среда Волгограда претерпела значительные изменения[1][4]. Характерными признаками на данном этапе являются низкое качество городской среды, неблагоустроенность пешеходных пространств, отсутствие комфортных общественных пространств. На сегодняшний день остаются зоны и территории, у которых не хватает концентрации функций, социальной обеспеченности и притяжения. В то же время эти территории имеют огромный потенциал для развития коммуникаций и инфраструктуры, формируют городскую среду.

Со сменой парадигмы общественного развития городские пространства, обеспечивающие оптимальную организацию городской инфраструктуры по схеме «труд — быт — отдых», выпали из поля зрения профессионалов — архитекторов и градостроителей [5—7]. Практически все значимые общественные пространства города оказались монофункциональными и не могут предоставить условия для реализации современных потребностей волгоградцев.

Одной из таких «знаковых» территорий для Сталинграда — Волгограда является сквер им. Симбирцева. При разработке проектных предложений по реабилитации этого городского пространства в ходе анализа выявлялся его

[1] NACTO Urban Street Design Guide Overview. New York, 2012.

потенциал как общественного пространства с позиции градостроительной организации, функционального наполнения, востребованности городскими жителями, историко-культурной ценности [5, 6].

Изначально в планах реконструкции Сталинграда (см. рис. 1) на месте сквера планировалось построить оперный театр как одну из основных доминант ансамблевой застройки [7]. На сегодняшний день на данной территории располагается сквер имени главного архитектора Сталинграда (рис. 2).

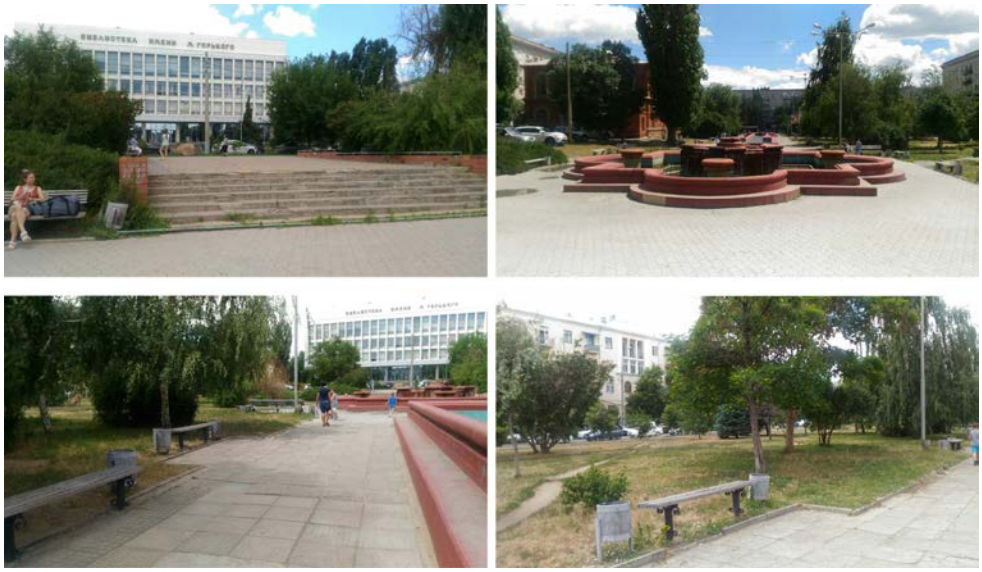


Рис. 2. Фотофиксация сквера им. Симбирцева

В настоящее время сквер объединяет две главные исторические улицы города — ул. Мира и проспект им. Ленина. Территория уникальна своей историко-архитектурной средой, градостроительным расположением в Центральном районе, а также связующим пешеходным пространством. Сквер ориентирован на внешнюю и внутреннюю группу пользователей и является общественным пространством городского масштаба. Сквер представляет собой прямоугольник размерами 180 × 90 м.

Территория сквера ограничена застройкой жилыми зонами 1950-х гг. в стилистике сталинского ампира. Со стороны ул. Мира она ограничена зданием библиотеки, построенной в 1980-х гг. в соответствии с идеями советской функционалистской школы. На территории сквера сохранилось здание синагоги времен Царицына. Таким образом, на ограниченной территории в 1,6 га находятся объекты историко-культурного значения, отражающие все аспекты развития Царицына — Сталинграда — Волгограда.

Территория сквера представляет собой пространство, обладающее обязательными признаками общественного пространства, такими как историчность, удобное размещение в планировочной структуре города, архитектурно-градостроительная значимость, открытость и безопасность. Между тем функциональная наполненность пространства не соответствует его ресурсным возможностям, в результате чего оно фактически являет собой транзитную территорию [8—10].

Сквер имеет высокую степень проницаемости со всех сторон планировочной структуры (рис. 3). Физическая доступность обусловлена пешими прогулками (пр. им. Ленина, ул. Мира, ул. Порт-Саида и ул. Симбирцева) и общественным транспортом (остановка общественного транспорта «Порт-Саида»). Ограничительными элементами сквера являются озеленение и существующая застройка (кафе и корпус областной клинической больницы (здание бывшей синагоги Царицына)). Анализ транспортной доступности позволил зафиксировать стихийные парковки и неорганизованные парковочные карманы, а также стихийные остановки общественного транспорта по ул. Порт-Саида.

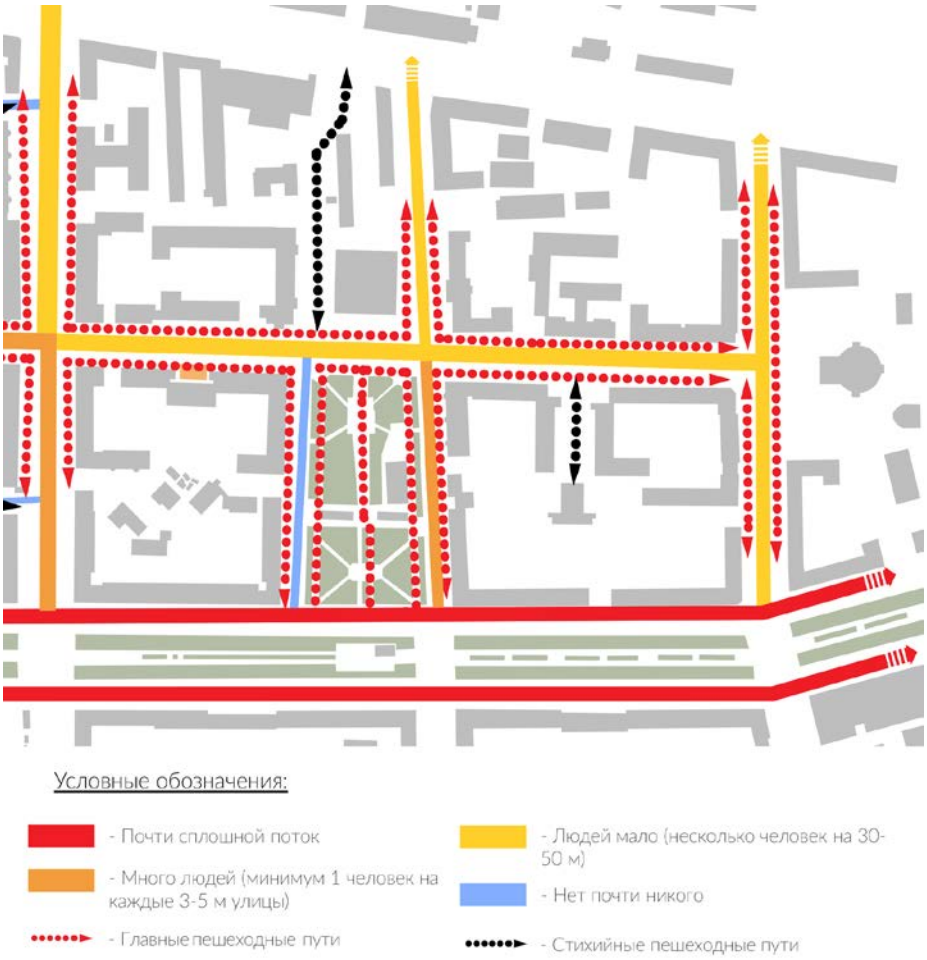


Рис. 3. Схема пешеходной доступности

Большое влияние на формирование социальной жизни и улучшение качества общественного пространства оказывает окружающее функциональное наполнение (рис. 4). Здесь необходимо выделить библиотеку им. М. Горького, лицей № 5 им. Ю. А. Гагарина, Волгоградский музей изобразительных искусств им. И. И. Машкова, жилые дома с административными помещениями [9—12].

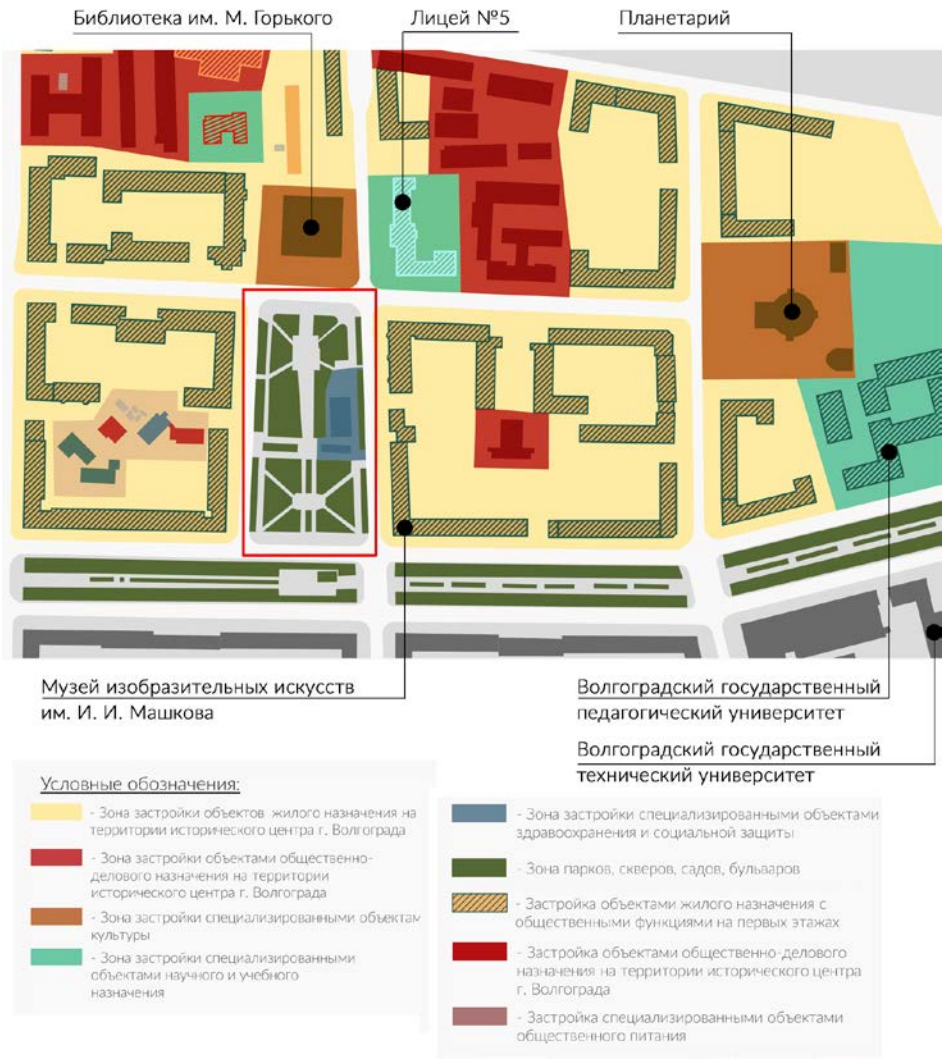


Рис. 4. Схема функционального зонирования и наполнения территории

Также необходимо обратить внимание на значимые окружающие функции, располагающиеся вблизи сквера им. Симбирцева: Волгоградский государственный педагогический университет, Волгоградский государственный технический университет, Планетарий, Областной кукольный театр, административная застройка и гостиницы. Важно отметить, что вокруг территории преобладают образовательные учреждения, на которые развитие общественной функции в этом пространстве может опереться [13]. Связующими участками образовательных учреждений служат сквер, проспект им. Ленина и ул. Мира.

Анализ функционального зонирования и наполнения территории позволил определить социальные группы людей, в большей или меньшей степени посещающих сквер (рис. 5). Для определения социальной активности населения было предложено разделить посетителей на следующие возрастные категории: дети (3—14 лет), молодежь (15—29 лет), взрослые (30—60 лет),

пожилые (старше 60 лет)[2] [8—10]. На основании данных, полученных по результатам проведенного мониторинга, сформирована социально-функциональная модель пространства, позволяющая разрабатывать проектные предложения с учетом потребностей горожан всех социальных групп и включением уже сложившихся практик их взаимодействия. Необходимо определить соотношение групп населения, которые по результатам социологических исследований будут наиболее активными на данной территории. Это позволит выявить группы, которым меньше всего уделяют внимание и не создают пространства для времяпрепровождения. К таковым относится группа подростков и молодежи. Именно эта группа является более ущемленной в плане приспособленности общественного пространства сквера под ее нужды.

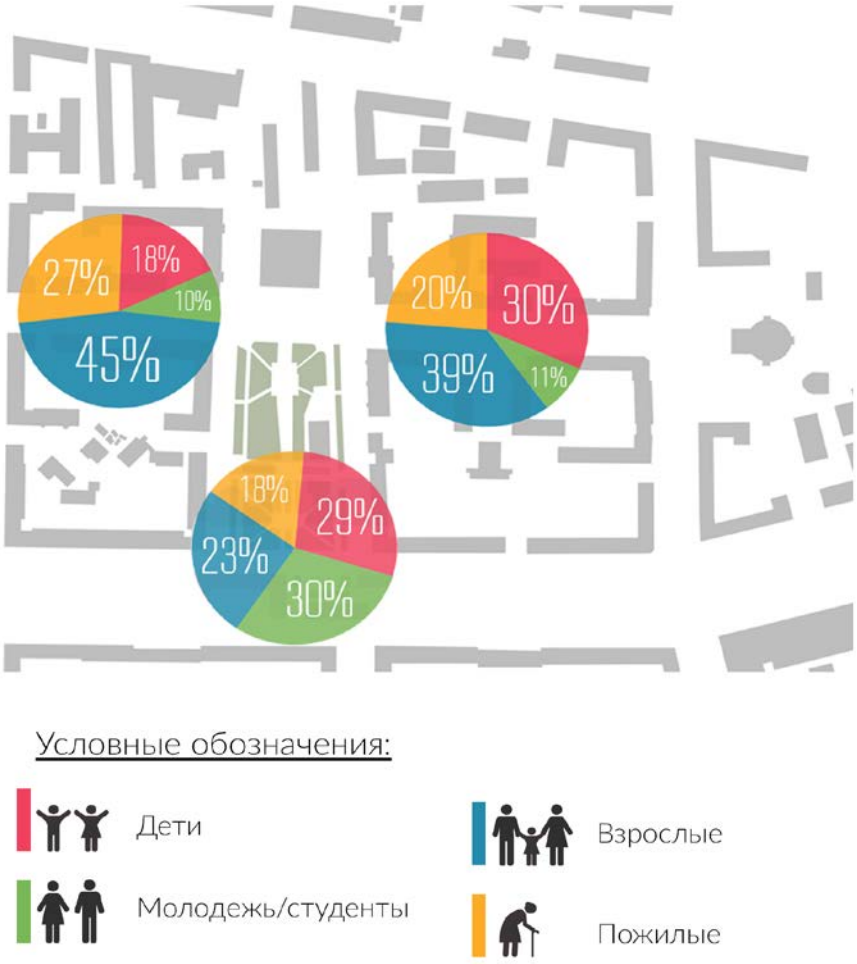


Рис. 5. Схема социальной активности населения по возрастным категориям

По результатам историко-градостроительного, функционального и социологического исследования территории была определена концепция ее организации.

[2] Там же.

В проектном предложении по реновации сквера территория делится на три функциональные зоны: лекционную (тихую), прогулочную (аллея) и историческую. Такое композиционное решение обусловлено градостроительным расположением каждой функциональной зоны и создает удобную пешеходную связь (рис. 6).

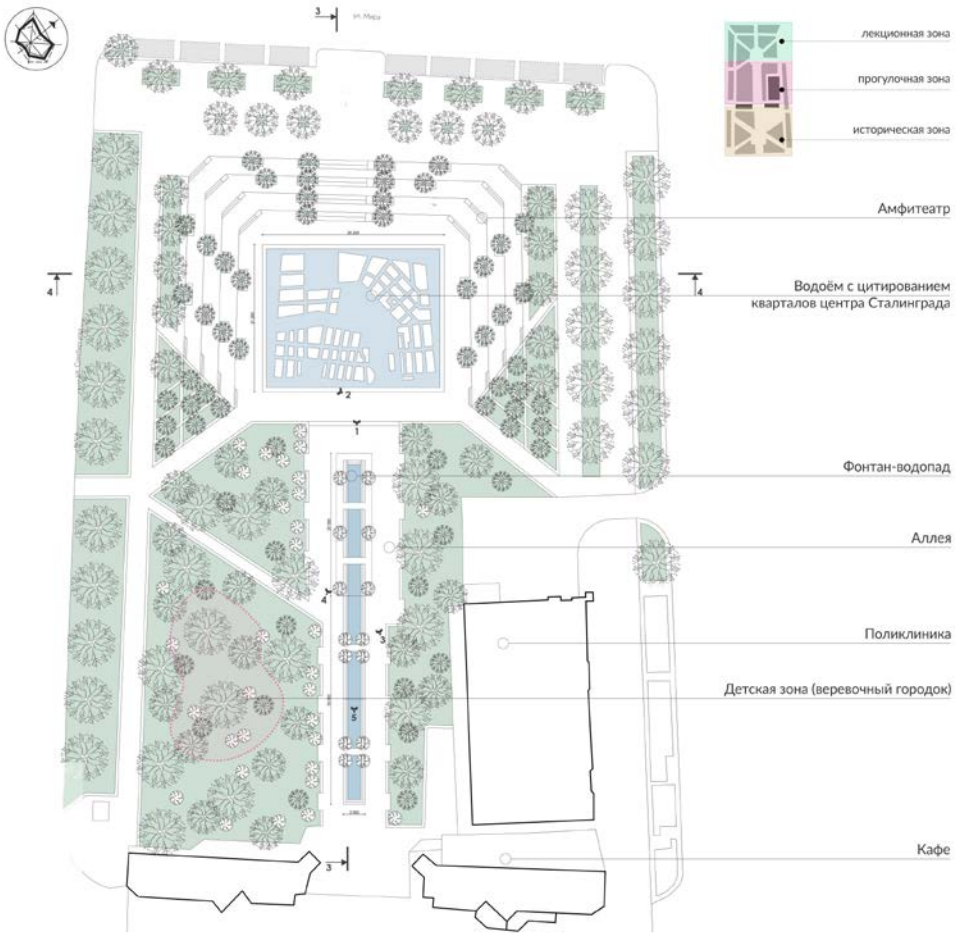


Рис. 6. Проектное предложение по реабилитации сквера

В верхней планировочной части сквера есть все предпосылки для создания амфитеатра или лекционной зоны под открытым небом, места для проведения презентаций и встреч с читателями:

расположение;

планировочная структура;

рельеф;

пешеходная доступность;

тихая комфортная атмосфера.

Проектом предложен монументальный амфитеатр из четырех-пяти монолитных ступеней для многолетнего и всесезонного использования (рис. 7). Ступени оформляются деревянными рейками и клумбами. В зоне орхестры

организован водоем с камнями, цитирующими кварталы Сталинграда. Лекционная функция будет актуальна для окружающих образовательных учреждений и для молодежи.

В средней части сквера организована детская зона с интерактивными, развивающими площадками, интегрированными в существующий ландшафт. Главная аллея, соединяющая верхнюю и нижнюю функциональные зоны, подчеркивается водооборотным комплексом с мостами и ступенями, современным архитектурным освещением и художественными инсталляциями (рис. 8).

Важно сохранить историческую зону сквера, подчеркнув панорамное раскрытие архитектурного ансамбля центра города, и улучшить качество среды путем обновления покрытий, малых архитектурных форм и озеленения. В проектное предложение входит сохранение пешеходной структуры, благоустройство территории памятника и внедрение интерактивных информационных стендов.

На территории парка основные массивные насаждения представлены ослабленными зелеными насаждениями. Проектным предложением предусматриваются санитарно-оздоровительные мероприятия, включающие ландшафтную реконструкцию, сохранение здоровых деревьев и кустарников и обновление травяного покрова.

Исторический центр города-героя Волгограда уникален архитектурной, историко-культурной и градостроительной средой. Своей значимостью он подчеркивает необходимость развития общественных пространств, развития жизни в регрессирующей городской среде. Необходимо сохранение исторических пространств и сложившегося своеобразия, которые являются отражением эпохи.

Реабилитация территории сквера им. Симбирцева осуществляется не только за счет улучшения качества благоустройства, но и путем повышения аттрактивности, мультифункциональности, обеспечивающих привлечение большей части социальных групп населения. Внедрение тематических зон обеспечит развитие образовательных, развлекательных и туристических функций, расширит зону социального влияния на общественную жизнь города.

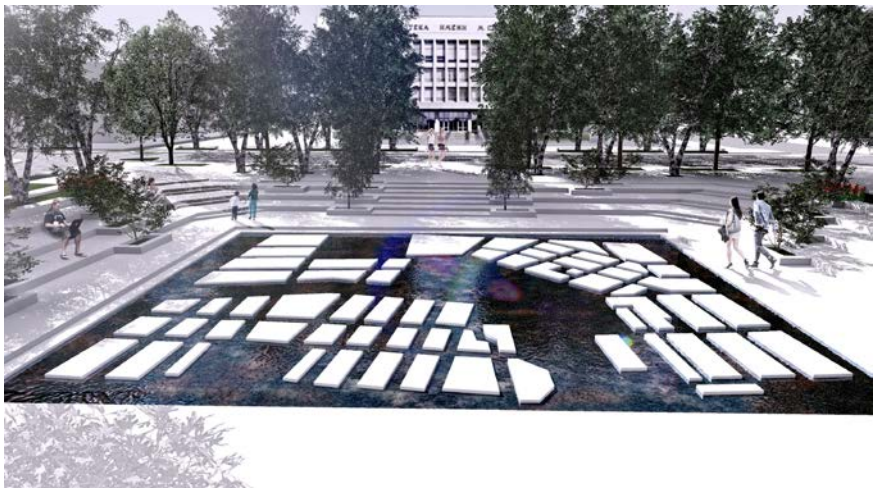


Рис. 7. Визуализация амфитеатра с фонтаном

Рис. 8. Визуализация главной аллеи сквера

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гельфонд А. Л.* Общественное здание и общественное пространство. Дуализм отношений // Academia. Архитектура и стр-во. 2015. № 2. С. 18—31.

2. *Антюфеева О. А., Птичникова Г. А.* Архитектурно-пространственная эволюция общественных пространств постсоветского города // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 524—534.

3. *Олейников П. П.* Архитектурное наследие Сталинграда. Волгоград : Издатель, 2012. 560 с.

4. *Matan A., Newman P.* People Cities: The Life and Legacy of Jan Gehl. Washington, DC : Island Press, 2016.

5. *Загорская М. А.* Философия и методология формирования общественных пространств. М., 2015. С. 34—58.

6. *Закирова Ю. А.* Формирование моделей-прототипов общественных пешеходных пространств // Изв. Казан. гос. архитектур.-строит. ун-та. 2012. Вып. 3(21). С. 27—31.

7. *Лотник А. И.* Исторический центр Волгограда: проблемы сохранения и развития // Альтернативы регионального развития (Шабунинские чтения) : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград, 2011. С. 2—3.

8. SAGA о городе. Трансформация общественных пространств / Под ред. Л. Воронковой, О. Паченкова. СПб. : НП-Принт, 2014. 189 с.

9. *Gehl J.* Cities for people // International Journal of Sustainability in Higher Education. 2011. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 25—132

10. *Gehl J., Gemzoe L.* New City Spaces. Copenhagen, 2001. Pp. 10—59

11. *Gumpert G., Drucker S. J.* The urban dilemma: a communication analysis and a call for Papers // Communication Research. 1994. Vol. 21. Pp. 250—251

12. *Hajer M., Reijndorp A.* In Search of New Public Domain. Rotterdam : Nai Publishers, 2001.

13. Light Capital. Urban scripts for Ljubljana : the Berlage Institute research report No. 10 / Ed. by M. Robles-Duran, R. Adams. Rotterdam : Berlage Institute, 2006. Pp. 2—5

© Шаронова О. А., Антюфеев А. В., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Шаронова О. А., Антюфеев А. В. Функционально-градостроительная реорганизация общественных пространств на примере реновации сквера им. Симбирцева в Сталинграде — Волгограде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 264—273.

Об авторах:

Шаронова Олеся Александровна — ведущий архитектор, ООО «Научно-исследовательский и проектный институт „Русстройпроект“». Российская Федерация, 400001, Волгоград, ул. Канунникова, 15; mihamet.ru@mail.ru

Антюфеев Алексей Владимирович — канд. архитектуры, проф., зав. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-4895-0094; Scopus ID: 57200195262; antyufeev_a@mail.ru

Olesia A. Sharonova[a], Alexey V. Antyufeev[b]

[a] LLC “Research and Design Institute “Russtroyproekt”
[b] Volgograd State Technical University

FUNCTIONAL-URBAN-PLANNING REORGANIZATION OF PUBLIC SPACES ON THE EXAMPLE OF THE RENOVATION OF THE PARK NAMED AFTER SIMBIRTSEV IN STALINGRAD — VOLGOGRAD

The article is devoted to the study of public spaces in Volgograd. As the most striking example of such a space, the square named after Simbirtsev in the Central District of the Hero City. The problems are identified and the potential of the territory is revealed in the urban planning, functional and social aspects. Proposals have been developed for more effective inclusion of the square’s territory into the public life of the city. A project proposal has been developed for the functional and urban planning rehabilitation of this important public space.

K e y w o r d s: urban planning, architecture, public spaces, urban environment, rehabilitation, square.

For citation:

Sharonova O. A., Antyufeev A. V. [Functional-urban-planning reorganization of public spaces on the example of the renovation of the park named after Simbirtsev in Stalingrad — 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], 2021, iss. 4, pp. 264—273.

About authors:

Olesia A. Sharonova — lead architect, LLC “Research and Design Institute “Russtroyproekt”. 15, Kanunnikova st., Volgogrd, 400001, Russian Federation; mihamet.ru@mail.ru

Alexey V. Antyufeev — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., 400074, Volgograd, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4895-0094; Scopus ID: 57200195262; antyufeev_a@mail.ru

УДК 711.4-112

С. Е. Стеценко, Н. А. Ястребова

Волгоградский государственный технический университет

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРОДСКИХ ЛЕСОЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Рассмотрен исторический и современный опыт создания лесозащитных насаждений в городах. На основе выполненного анализа состояния зеленого пояса Волгограда предложены мероприятия по восстановлению и развитию лесозащитных насаждений города, обеспечивающих защиту от проявлений неблагоприятных климатических условий и улучшающих экологию городских территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: защитные зеленые насаждения, зеленый пояс города.

Защитные зеленые насаждения оказывают активное влияние на окружающую природную среду, нормализуют и стабилизируют экологическую обстановку, образуют устойчивые агролесоландшафты с высокой степенью саморегуляции, оптимизируют влагооборот, тепло- и газообмен территории. Лесонасаждения, находящиеся в пригородной зоне, выполняют непосредственно защитные функции, обеспечивая комфортное пребывание населения на городских территориях, предотвращая запыленность воздуха, охлаждая и очищая поступающие в город воздушные массы, нивелируя скоростной ветровой режим [1, 2].

Защитное лесоразведение в России началось в середине 19 в. с момента оказания государственной поддержки как в стратегическом, так и финансовом отношении. Начались масштабные работы в части:

создания полосных насаждений;

организации широкополосных лесокультур по водоразделам в Поволжье;

проведения работ по закреплению подвижных песков Астраханской губернии;

создания насаждений для защиты железных дорог от снежных и песчаных заносов;

выращивания лесов в горах для предотвращения эрозии.

В целом за дореволюционный период на базе ручного труда и гужевой тяги было создано свыше 200 тыс. га насаждений разного назначения [3].

Первоначально широкие лесные полосы закладывали в Самарской, Ставропольской, а затем в Саратовской, Оренбургской и Воронежской губерниях. За период 1886—1906 гг. было облесено более 7000 тыс. га территории России [4, 5].

Положением о сбережение лесов от 4 апреля 1888 г.[1] к защитным лесам были отнесены различные леса, имеющие водоохранное и противоэрозионное значение.

В 1928 г. была введена новая категория защитных лесов — зеленые зоны вокруг населенных пунктов [6]. Постановлением СНК СССР «О порядке отвода лесосек в лесах государственного фонда Союза ССР и о лесосечном

[1] Полное собраніе законовъ Россиійской Имперіи : собраніе третіе. Томъ VII. 1888. СПб., 1890.

фонде на 1943 год» от 23 апреля 1943 г. № 430 все леса СССР были разделены на три группы. Защитные леса этим постановлением были отнесены к лесам первой группы.

Масштабные работы по борьбе с засухами, песчаными и пыльными бурями путем строительства водоемов, посадки лесозащитных насаждений и внедрения травопольных севооборотов в южных районах СССР (Поволжье, Западный Казахстан, Северный Кавказ, Украина) были предусмотрены и частично реализованы в соответствии со Сталинским планом преобразования природы [7]. Комплексная программа научного регулирования природы в СССР, осуществлявшаяся в конце 1940-х — начале 1950-х гг., была направлена на создание восьми крупных лесных государственных полос в степных и лесостепных районах СССР общей протяженностью свыше 5300 км.

Защитные государственные лесные полосы — это искусственные, созданные посевом (в том числе аэросевом) или посадкой лесные насаждения для защиты сельскохозяйственных культур от суховеев и улучшения климатических условий.

План мероприятий был принят по инициативе И. В. Сталина и введен в действие постановлением Совета министров СССР и ЦК ВКП(б) «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР» от 20 октября 1948 г. Выполнение поставленных задач, указанных в Постановлениях ЦК ВКП(б), а также ЦК КПСС и Совета министров СССР[2], позволило вывести защитное лесоразведение на новый уровень.

За всю историю защитного лесоразведения в России на сельскохозяйственных землях было посажено 5,2 млн га защитных лесных насаждений. К 2010 г. в силу различных причин их площадь уменьшилась до 2,74 млн га, что в три раза меньше научно обоснованных норм облесения [8]. Реализованные проекты систем защитных зеленых насаждений городов получили обобщенное название «Зеленое кольцо города».

Концепция зеленых колец, или поясов, получила свое развитие во многих странах и рассматривалась как наилучший способ ограничения разрастания городов, минимизации деградации окружающей среды путем жесткого отделения сельских пространств от городской застройки.

Первый в мире зеленый пояс появился вокруг Лондона. Его создание предусматривал план развития города, разработанный британским правительством в 1944 г. В 1955 г. британское правительство выпустило циркуляр, в котором рекомендовало муниципалитетам во всех городах, где это возможно, включить зеленые пояса в планы развития населенных пунктов[3][9]. Прежде всего, зеленый пояс Лондона должен был остановить процесс «расползания города». Кроме того, на него возлагались такие функции, как:

[2] О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии : постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР от 20 марта 1967 г. № 236.

О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии в РСФСР : постановление Совета министров РСФСР от 5 июля 1967 г. № 503.

[3] URL: https://www.cpre.org.uk/wp-content/uploads/2021/02/CPRE-State-of-the-Green-Belt-report_February-2021.pdf.

защита леса и сельскохозяйственных земель;

«сохранение уникального характера сельской Англии»;

обеспечение доступа горожан к рекреационным зонам и участкам нетронутой природы;

«защита исторического характера» городов — спутников Лондона и воспрепятствование их слиянию с метрополией;

улучшение экологической ситуации — очищение воздуха, вод, регенерация земель.

На сегодняшний день опыт создания пригородных зеленых насаждений в виде зеленых поясов применяется во многих городах мира [10, 11]. Например, практика азиатских городов показывает необходимость в организации и поддержании зеленых поясов прежде всего для противодействия последствиям бурной урбанизации, а также для улучшения экологической обстановки в городах с высокими темпами экономического развития. Показательным можно считать зеленый пояс Пекина, концепция организации которого представляет собой сочетание применения нескольких методов: придание соответствующего статуса землям, расширение существующей системы озелененных территорий и создание подобных территорий с нуля [12, 13]. Внутреннее кольцо зеленого пояса Пекина располагается между центром города и периферийными городскими районами; внешнее кольцо больше приближено к пригородам Пекина. Внешняя граница зеленых поясов проходит по внешней стороне 6-й кольцевой дороги Пекина и представляет собой буферную зону шириной в 1 км, которая, по сути, является границей между городской и сельской местностью [12].

Формировавшиеся зеленые пояса российских городов требовались прежде всего для обеспечения защиты городских территорий от проявлений неблагоприятных климатических факторов, защиты межгородских автомобильных и железнодорожных путей, служили дополнительными рекреационными зонами для городского населения. Одним из первых стал лесопарковый пояс Москвы, который обеспечил улучшение городской среды и выполнил важную архитектурно-художественную задачу, органически связывая городской и пригородный ландшафт за счет создания кольца парков вокруг центра, включившего Воробьевы горы, Фили, Серебряный бор, Покровское, Тимирязево, Останкино, Сокольники, Измайлово, Кусково.

В настоящее время в России набирают темпы работы, связанные с восстановлением лесозащитных насаждений. Утеря защитных зеленых насаждений, некогда входящих в городские зеленые пояса, за счет вывода земель городских лесов и лесозащитных насаждений и их деградации привела лесозащитные объекты к катастрофическому состоянию. Российские города испытывают на себе ухудшение экологической обстановки, отягощенной неблагоприятными климатическими факторами.

Решение этой задачи потребовало создание эффективного механизма по регулированию лесопарковых зеленых поясов, что нашло отражение в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ, дополненном главой IX.1 «Лесопарковые зеленые пояса», где раскрывается понятие «лесопарковые зеленые пояса», устанавливается порядок их создания, упразднения, принятия решения об отказе в их создании, определен режим особой охраны природных объектов, расположенных в лесопарковых зеленых поясах.

По сообщению Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоза), в 2018 г. было создано 40 лесопарковых зеленых поясов в 36 регионах РФ на площади 571,81 тыс. га. Такие территории появились в Ивановской, Рязанской, Вологодской, Орловской, Тульской областях, а также в Башкирии, Хакасии и других регионах России[4]. По состоянию на март 2021 г. такая работа проводится уже на территории 70 субъектов Российской Федерации[5].

Лесопарковые зеленые пояса — это зоны с ограниченным режимом природопользования или иной хозяйственной деятельности. Это территории, на которых расположены леса, территории зеленого фонда в границах городского населенного пункта, которые прилегают к указанным лесам или составляют с ними единую естественную экологическую систему. Иными словами, это леса в городах и вокруг городов, а также сюда относятся лесозащитные полосы или защитные государственные лесные полосы.

В Волгограде защитный зеленый пояс состоит из насаждений городских лесов, лесного фонда, естественных массивов, расположенных в районе Горной Поляны, Веселой балки, Вишневой балки, а также в пригородной зоне, фрагментов защитной государственной лесополосы [2, 14]. Искусственно созданный лесной массив, разместившийся вблизи рабочего поселка Городище в Городищенском районе Волгоградской области, входит в систему лесополос и является связующим звеном с созданными в 1940-х — 1950-х гг. государственными лесополосами Камышин — Сталинград и Сталинград — Степной — Черкесск.

Формирование внешнего зеленого пояса Волгограда было начато в 1935 г., эти работы приостанавливались лишь в период Великой Отечественной войны. Лесные культуры зеленого кольца — лиственные и хвойные — устраивались в виде полос различной ширины и конструкции. Также создавались небольшие сплошные массивы. Особенностью зеленого кольца Волгограда являлось чередование участков лесных культур с плодовыми садами. Сочетание лесных и садовых насаждений стало новым приемом создания зеленых зон вокруг городов юго-востока.

За период 1950—1966 гг. было сформировано зеленое кольцо Сталинграда — Волгограда, в которое вошли:

1) государственная защитная лесополоса Волгоград — Камышин, протяженность 42 км;

2) государственная защитная лесополоса Волгоград — Черкесск, протяженность 23,5 км;

3) лесничества (Тракторозаводское, Дзержинское, Городищенское, Ворошиловское, Кировское, Красноармейское).

Зеленое кольцо Волгограда стало примером решения задачи по улучшению качества городской среды. Благодаря созданным защитным зеленым насаждениям в том числе существенно сократились эпизоды пыльных бурь на территории города [15].

Несмотря на очевидную необходимость для города защитных зеленых насаждений, площадь и протяженность зеленого кольца Волгограда с 2006 г. стремительно сокращается. Исследования, проведенные авторами в 2018—2019 гг.,

[4] URL: https://rosleshoz.gov.ru/news/2019-01-09.

[5] URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/?PAGEN_2=39.

выявили уменьшение площади, занятой городскими лесами в Волгограде, в два раза. Инвентаризация территорий городских лесов Волгограда показала следующее:

большая часть лесов Дзержинского лесничества отдана под жилую застройку — 350 га;

80 % посадок Красноармейского лесничества высохло — 2 тыс. га;

50 % городских лесов Кировского лесничества находятся в неудовлетворительном состоянии — 1,4 тыс. га;

40 % городских лесов Ворошиловского лесничества уничтожено — 1,5 тыс. га;

всего 30 % посадок сохранилось в Тракторозаводском лесничестве — 1 тыс. га.

Сохранившиеся участки лесной защитной полосы Камышин — Волгоград остались в основном за пределами города. Общая протяженность этих участков 28,5 км, состоит из трех полос по 60 м каждая с расстоянием между полосами 300 м. Фрагмент защитной лесной полосы Волгоград — Черкесск сохранился на территории Советского и Красноармейского районов. Состоит из четырех полос по 60 м каждая с расстоянием между полосами 300 м. Общая протяженность составляет 7,52 км. Участки лесной защитной полосы Волгоград — Черкесск почти не сохранились вследствие передачи земель под жилое строительство.

Исследования состояния видового и качественного состава зеленых насаждений зеленого кольца подтвердили их несоответствие градостроительным и санитарно-гигиеническим требованиям. Под воздействием промышленных и транспортных загрязнений, климатических особенностей, неорганизованного отдыха горожан произошла деградация озелененных территорий, площадь территорий, занятых защитными насаждениями, отдана под застройку, кладбище или используется как стихийная свалка.

Подобная ситуация наблюдается во многих российских городах, поэтому очевидна необходимость в мероприятиях по восстановлению утраченных лесозащитных насаждений, разработке методов и в поиске решений по формированию зеленого пояса городов с учетом климатических условий, техногенной нагрузки и градостроительной ситуации [16].

В частности, для Волгограда решение вопроса по формированию зеленого пояса вокруг города видится авторами в виде комплексных мероприятий по реконструкции объектов лесозащитных насаждений.

Под реконструкцией лесозащитных насаждений необходимо рассматривать совокупность мер по восстановлению деградированных участков защитных насаждений, проектированию новых лесозащитных объектов или, иначе, градостроительно-территориальную организацию лесозащитных насаждений, а также проведение лесоводственных мероприятий, направленных на подбор или улучшение породного состава, схем смешения и размещения лесных пород, конструкций насаждений для улучшения общего состояния насаждений и повышения их экоэффективности.

Работы по реконструкции лесозащитных насаждений Волгограда, по мнению авторов, должны заключаться в следующем:

1) восстановлении зеленых насаждений защитных лесополос на сохранившихся участках зеленого кольца;

2) проектировании участков защитных лесополос зеленого кольца на новых территориях;

3) восстановлении зеленых насаждений на территориях, занятых городскими лесами (лесничествами);

4) проектировании новых городских лесов на новых территориях.

Восстановление зеленых насаждений защитных полос на сохранившихся участках зеленого кольца предусматривает проектирование и закладку новых лесополос взамен утраченных фрагментов существующих лесополос, общей протяженностью 3,2 км (фрагмент защитной лесополосы Волгоград — Камышин на территории Городищенского района Волгоградской области) (рис. 1, фрагмент *1—2*), а также восстановление зеленых насаждений на уцелевших участках защитных лесополос. Сохранившиеся защитные лесополосы зеленого кольца остались в основном за пределами города. Общая протяженность уцелевших участков составляет 28,5 км, ширина 700 м, состояние удовлетворительное. Единственный сохранившийся участок защитной полосы в черте города расположен в Советском районе. Протяженность этого участка составляет 3,42 км, и его состояние крайне неудовлетворительное.

Работы по восстановлению зеленых насаждений на уцелевших участках защитных лесополос должны основываться на анализе состояния зеленых насаждений и их инвентаризации, предусматривать санитарную обрезку уцелевших растений, посадку новых зеленых насаждений с подбором ассортимента согласно региональным климатическим характеристикам, организацию ухода за зелеными насаждениями и их мониторинг.

При выборе новых территорий для размещения защитных зеленых лесополос необходимо учитывать удаленность участка от черты города, т. е. локализацию объекта лесозащитного озеленения.

В целях размещения защитных полос на принципиально новых территориях требуется новый отвод земель на территории Городищенского района, протяженностью 25,4 км, а также у южной границы Волгограда на территории Светлоярского района, протяженностью 21,9 км (рис. 1, фрагменты *3—4*, *5—6*). Территория, отмеченная на схеме (рис. 1, фрагмент *4*), входит в черту города, что предполагает формирование на ней защитных зеленых насаждений в виде городского леса.

С учетом перспективного роста города и меняющейся градостроительной ситуации возможно отведение земель под организацию нового внешнего зеленого пояса города. В таком случае предполагаемое размещение внешнего защитного зеленого пояса может опираться на численность городского населения. Так, радиус защитной зеленой полосы составит для города с населением:

более 1 млн чел. — 60…80 км;

от 500 тыс. до 1 млн — 30…40 км;

250…500 тыс. — до 20 км.

Размещение защитных лесополос вдоль объездных дорог должно предусматриваться на расстоянии 30 м, по обе стороны от дороги либо с одной стороны, но с учетом господствующих ветров местности, в целях обеспечения обеспыливания воздуха и снегозадержания [1, 3].

В соответствии с современной градостроительной ситуацией в Волгограде, а именно реализацией масштабного проекта по возведению объездной автомагистрали М4 вокруг Волгоград, авторы считают необходимым

размещение новой защитной лесополосы под условным названием «Зеленое кольцо — 2». Удаленность «Зеленого кольца — 2» от объездной автомагистрали М4 предусматривается авторами на расстоянии 30 м. Протяженность полосы 72 км (рис. 1, фрагмент *72*).

Для обеспечения защитных лесных насаждений необходимо создание питомника площадью 80 га на территории Ворошиловского лесничества.

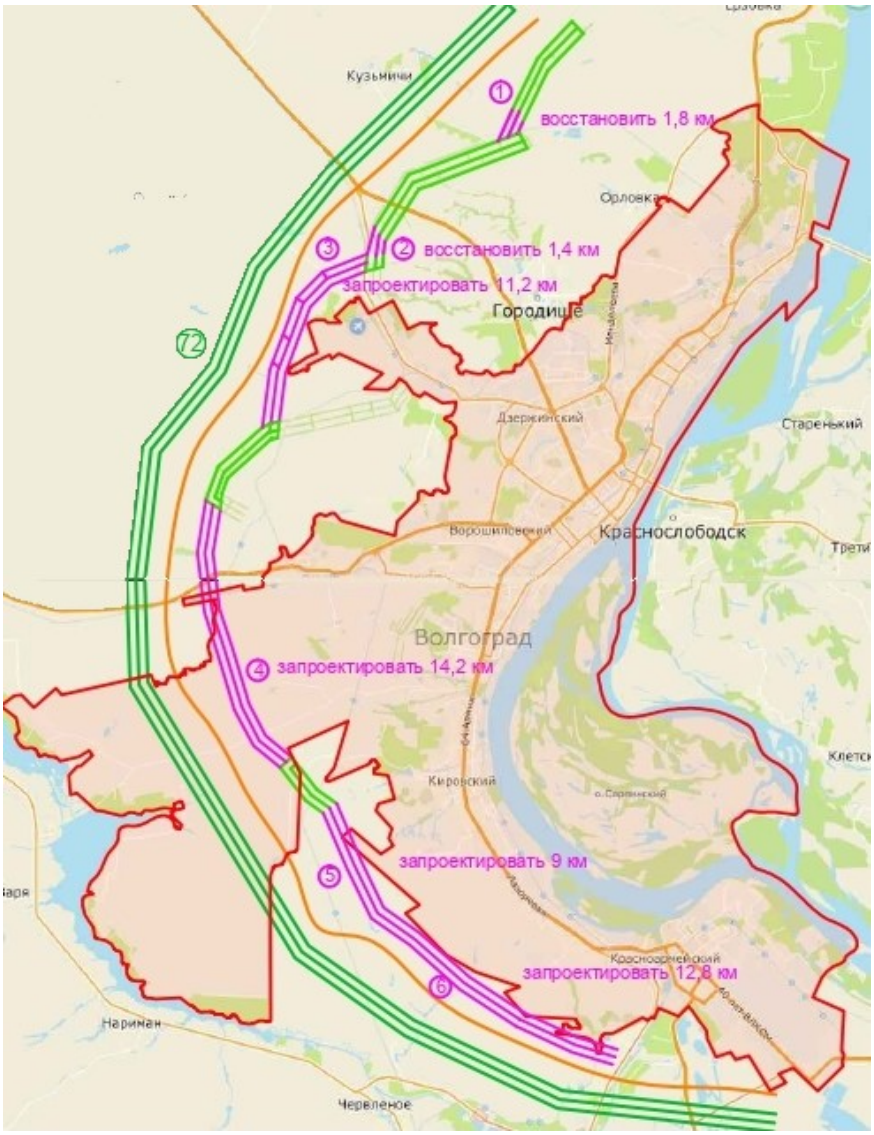


Рис. Градостроительно-территориальная организация лесозащитных насаждений Волгограда, фрагменты: *1—2* — восстановление утраченных участков государственной защитной лесополосы; *3—6* — проектирование новых защитных лесополос; *72* — «Зеленое кольцо — 2»

Защитные зеленые насаждения Волгограда, помимо защитных лесополос, представлены зелеными массивами (городскими лесами), расположенными на территориях пяти лесничеств.

В настоящее время городские леса Волгограда находятся в неудовлетворительном состоянии и нуждаются в восстановительных мероприятиях. Реконструкция защитных зеленых насаждений городских лесов должна проводиться так же, как и в случае с защитными лесополосами, основываясь на анализе состояния зеленых насаждений и их инвентаризации. В отличие от защитных лесополос видовой состав зеленых массивов может быть расширен, можно применить большее разнообразие вариантов смешения пород. В случае установления значительной площади деградированных и отмирающих насаждений должна предусматриваться замена всех насаждений. Кроме того, может возникнуть необходимость в перепланировке участков и всей территории ввиду антропогенного изменения ландшафта. Обновление видового состава должно соответствовать критериям экологической безопасности и создавать условия по улучшению микро- и мезоклимата территории ввиду непосредственной близости к различным функциональным зонам города. Здесь следует рассматривать эффективность снижения температуры, повышения относительной влажности воздуха, снижения скорости ветра, изменения режима аэрации территории и сокращения влияния избыточной солнечной радиации [17].

В связи с тем, что площадь городских лесов стремительно уменьшается, необходимо восполнение нехватки зеленых насаждений внутри города за счет новых территорий, отданных под городские леса, с ежегодным объемом посадки не менее 60 га новых насаждений. Для определения новых участков, пригодных для размещения городских лесов, авторами предлагаются следующие основные мероприятия:

1. Оценка фактических городских границ и их перспективное расширение в соответствии с утвержденным Генеральным планом города.

2. Выбор участков для размещения проектных защитных городских лесов с учетом существующих и перспективных границ города.

3. Определение соответствия территориальных зон участков проектирования размещению лесозащитных зеленых насаждений.

4. При выявлении несоответствия разрешенному виду использования выполняются работы по изменению статуса территориальных зон. Осуществляется подготовка проектов нормативно-правовых актов, определяющих правовой режим хозяйственной и иной деятельности.

Опираясь на вышеизложенное, можно сказать, что восстановление, развитие и поддержание в эффективном состоянии лесозащитных насаждений городов — однозначно сложная и длительная работа на стыке нескольких научных и практических направлений, требующая немедленного вмешательства в сложившуюся ситуацию во многих российских городах. Исторический и современный опыт показывают, что города должны развиваться с одновременным обеспечением необходимыми площадями лесозащитных насаждений, характеристики и локализация которых зависят от комплекса функций и задач, возлагаемых на данные территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Стеценко С. Е., Емельянова О. Е.* Возникновение и распространение пыли в городской среде // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы XVIII Междунар. науч. конф. Волгоград, 2020. С. 86—90.

2. *Stetsenko S. E., Yastrebova N. A., Emelyanova O. E.* The main stages of landscape-environmental reconstruction of the “green ring” of Russian cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering — 2020 : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS-2020. Bristol, 2020.

3. *Кулик К. Н., Павловский Е. С., Свинцов И. П.* Агролесомелиорация в России: история и стратегия развития // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. 2008. № 4. С. 28—30.

4. *Кулик К. Н., Свинцов И. П.* Проблемы защитного лесоразведения в России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2009. № 32. С. 58—60.

5. Стратегия развития защитного лесоразведения в РФ на период до 2020 г. / К. Н. Кулик и др. Волгоград, 2008. 34 с.

6. *Кобяков К., Лепешкин Е., Титова С.* Защитные леса: получится ли их сохранить? // Устойчивое лесопользование. 2013. № 1(34). С. 34—44.

7. *Ковда В. А.* Великий план преобразования природы. М. : Изд-во АН СССР, 1952. 112 с.

8. *Иванова Ю. В.* Защитные леса: проблема лесоразведения и сохранения // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. : Право. 2013. № 35. С. 195—203.

9. *Bradley Q.* Public support for Green Belt: common rights in countryside access and recreation // Journal of Environmental Policy and Planning. 2019. Vol. 21. No. 6. Pp. 692—701.

10. *Nilsson K., Randrup T. B., Van den Bosch K. C.* Research on urban forests and trees in Europe // Urban Forests and Trees, 2005. Pp. 445—463.

11. Building a green belt and road: a systematic review and comparative assessment of the Chinese and English-language literature / H. C. Teo, A. Campos-Arceiz, A. M. Lechner, B. V. Li, M. Wu // PLoS ONE. 2020. Vol. 15. No. 9.

12. *N. Wu.* An introduction and comparative study of the implementation approaches of Beijing’s Green Belts // Proceedings of the 8th Conf. Int. Forum Urban, 2014.

13. *Авраменко А. А., Метлицкая Н. И.* Сравнительный анализ подходов к озеленению городов за рубежом (на примере Пекина, Сеула и Оттавы) // Интернет-журн. «Науковедение». 2017. Т. 9. № 4. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/14EVN417.pdf.

14. *Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В.* Методология планирования ландшафтно-экологической устойчивости природных компонентов в виртуальной модели городской среды // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 167—175.

15. *Stetsenko S. E., Yastrebova N. A.* The influence of urban planning and building factors on the dustiness of the urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018.

16. *Ivanova N. V., Podkovyrov I. Y., Sagomonyan V. K.* Methodological aspect of landscape and ecological reconstruction of green ring around Volgograd (Stalingrad) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 2019.

17. *Юдина Н. В., Лысова Е. П., Парамонова О. Н.* Разработка методического подхода к формированию и выбору пояса «зеленого каркаса» при обеспечении экологической безопасности городов // Инженер. вестн. Дона. 2020. № 4.

© Стеценко С. Е., Ястребова Н. А., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Стеценко С. Е., Ястребова Н. А. Градостроительно-территориальная организация городских лесозащитных насаждений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 274—283.

Об авторах:

Стеценко Светлана Евгеньевна — канд. техн. наук, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; stezenko-s@mail.ru

Ястребова Наталья Александровна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; yas_na71@mail.ru

Svetlana E. Stetsenko, Natalia A. Yastrebova,

Volgograd State Technical University

URBAN-TERRITORIAL ORGANIZATION OF CITIES FOREST PROTECTION PLANTINGS

The article discusses the historical and modern experience of creating forest protection plantations in cities. On the basis of the performed analysis of the state of the green belt of Volgograd, the authors proposed measures for the restoration and development of forest plantations in the city, which provide protection from unfavorable climatic conditions and improve the ecology of urban areas.

K e y w o r d s: protective green spaces, the green belt of the city.

For citation:

Stetsenko S. E., Yastrebova N. A. [Urban-territorial organization of cities forest protection plantings]. *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], 2021, iss. 4, pp. 274—283.

About authors:

Svetlana E. Stetsenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; stezenko-s@mail.ru

Natalia A. Yastrebova — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yas_na71@mail.ru

УДК 711.57

Н. А. Ястребова, С. Е. Стеценко

Волгоградский государственный технический университет

ТИПОЛОГИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ РАННЕГО РАЗВИТИЯ В СТРУКТУРЕ ВОЛГОГРАДА

Рассмотрены территориальные аспекты возникновения детских образовательных кластеров дошкольного образования в Волгограде; сформулирована типология возможных пространственных связей образовательных учреждений раннего детского развития, существующих как взаимосвязанная с планировочной структурой города система. Содержатся рекомендации по прогнозированию процесса кластерообразования в системе градостроительного проектирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: образовательный кластер, типология.

В последнее десятилетие процесс кластерообразования активно изучался рядом смежных дисциплин: экономикой, менеджментом в сфере территориального планирования, промышленности и агропромышленного комплекса [1, 2]. Сфера образования как бизнес-потенциал для развития городской экономики также является трендом современных комплексных междисциплинарных исследований. Отметим, что предметом исследований последних является главным образом высшее и специальное образование [3]. Наиболее изученными на данный момент аспектами формирования кластеров в системе образования являются территориальный аспект и его типологический состав (основным условием его организации и функционирования признается территориальная близость участников кластера, теоретико-концептуальная модель инновационного кластера (инновационно-образовательного кластера), в соответствии с которой географические ограничения в организации кластера отсутствуют, а коллективная деятельность участников кластера осуществляется на основе сетевых форм взаимодействия, независимо от их территориальных координат) [4].

Сложившаяся теория кластерообразования показывает, что инновационная инфраструктура кластера является основой для успешного развития инновационной деятельности и выступает катализатором развития и повышения конкурентоспособности как самого кластера, так и его участников. Установлено, что в условиях глобализации и развития сетевых форм взаимодействия наиболее конкурентоспособными являются не разрозненные предприятия, а объединения научных, образовательных, инновационных и производственных предприятий различных типов, активно взаимодействующие друг с другом и приращивающие тем самым конкурентный и инновационный потенциал друг друга, обеспечивая синергетический эффект на основе развития *сетевых форм взаимодействия* участников инновационного цикла. Считается, что преодоление территориальной разрозненности объектов возможно путем формирования единого информационно-коммуникационного пространства инновационно-образовательной среды по аналогии с внедренной в ВолгГТУ eos.vstu 02 [5].

В нашей статье *образовательный кластер* — это постоянно изменяющаяся структура, системными компонентами которой являются территори-

альный и материальный ресурсы. Образовательный кластер раннего развития (ОКРР) не может быть спроектирован без потенциала для дальнейшего развития и не может базироваться исключительно на развитии IT-технологий, но в силу своих особенностей схож с теорией об «идеальном городе»: намерения прекрасны, но потенциал материальной базы изучен крайне незначительно. Особенностью ОКРР является именно его целевая аудитория — дети, чье будущее полностью определяется целями, запросами и возможностями взрослых (родителей и опекунов). Образовательный кластер, как и город, в котором он может быть сформирован, меняется во времени. В кластере участники, будь то дети, родители или педагоги, не выполняют одинаковые задачи. Проектирование кластеров в детском образовании раннего развития — это продолжительный процесс, который требует объединения усилий всех участников с целью создания условий самоорганизации и обеспечения конкурентоспособности, качественного удовлетворения потребностей в образовательной услуге, приводящий к повышению результативности образовательной деятельности, развитию инновационных проектов и использованию социокультурных ресурсов территории [6]. Присутствует так называемое разделение труда, и каждый, выполняя работу, тем самым развивает свои интересы и специализацию. Группу объединяет общая цель, при этом каждый ее член вносит свой уникальный вклад в общую деятельность. Дети, участвуя в работе кластера, приобретают опыт коммуникативного взаимодействия с людьми различных возрастных категорий и профессий: от своих ровесников-одногруппников до родителей воспитанников и педагогов системы дошкольного и начального образования [7].

Волгоград — крупный город, который стремится перейти к инновационной системе обучения, однако не имеет необходимых сформированных инструментов прогнозирования процессов кластерообразования на базе существующих ресурсов планировочной системы. Считается, что в городе в настоящее время отсутствует связная система распределения образовательных учреждений. Данное утверждение обусловлено изолированностью так называемого официального образования: непосредственно школы и детские сады существуют под влиянием мощного административного ресурса, тогда как система дополнительного образования подразумевает несистемность и территориальную разрозненность (филиалы детских центров раннего развития, студии и кружки занимают арендованные площади) (рис.).

Абстрактная модель универсального состава кластера (ОКРР)

В рамках учебного проектирования и исследовательских работ магистрантов ИАиС ВолгГТУ был проведен типологический анализ организации образовательного процесса на примере в московского кластера «Дошкольное образование», изучены типологические схемы новых объектов системы образования Московского региона. Результат анализа позволил выявить необходимые элементы образовательного кластера раннего развития [8]. При проектировании детского ОКРР в Волгограде необходимо учитывать предпосылки его возникновения, а также критерии размещения образовательного кластера в планировочной структуре города; сформулировать принципы его формирования для данной среды. В Волгограде пока что нет подобных образовательных проектов. Город стремится перейти к инновационной системе обучения, однако не имеет необходимых учреждений и ресурсов для этого.

Рассматривая проблему территориальной организации образовательных учреждений раннего детского развития в Волгограде более подробно, сформулируем следующие территориальные критерии для формирования ОКРР: пешеходная доступность между корпусами; допустимая транспортная доступность общеобразовательных организаций; пешеходная доступность остановки общественного транспорта; спортивные и детские площадки на территории комплекса; невозможность включения в комплекс спорт-объектов, таких как каток, бассейн (в редких случаях — небольшие бассейны для малышей); невозможность создания единого здания в условиях городской застройки.

На данный момент не существует новых проектных норм, каким-либо образом заменяющих традиционную транспортно-пешеходную доступность, или норм культурно-бытового обслуживания населения.

Территориальные характеристики, такие как географическая неоднородность размещения детских образовательных учреждений в городской застройке, неравномерное распределение трудовых ресурсов и населения в целом, указывают на то, что определенные территории являются объективно более насыщенными, чем другие, более восприимчивыми к нововведениям и обладающими более высоким потенциалом развития. Эта гипотеза легла в основу поиска наиболее перспективных территорий для формирования кластерного образования в планировочной структуре Волгограда.

В процессе дипломного проектирования был изучен потенциал планировочной структуры Волгограда, а также имеющиеся в его составе образовательные объекты с целью определения территориальных аспектов при возможном формировании подобного кластера. В рамках классического градостроительного анализа были выявлены объекты образовательной сферы в административных районах Волгограда. Анализируя вышеизложенную информацию, можно прийти к следующим выводам: большинство дополнительных филиалов детского образования занимает арендованные площади (87 %), малый процент (12 %) имеет собственные здания и 1 % составляют ДЮЦы, которые могут быть рассмотрены как основа для создания кластеров; детским образовательным центрам не хватает специализированных учебных зданий и необходимых условий для полноценного существования как отдельной инфраструктуры; в спальных районах (Тракторозаводский, Советский, Кировский) практически отсутствуют какие-либо детские центры развития. При проектировании и размещении ОКРР в структуре Волгограда

необходимо руководствоваться нормами радиусов их пешеходной доступности: для дошкольных образовательных организаций рекомендуется принимать не более 500 м, для школ — 750 м. Эти параметры будут целесообразны и для кластеров раннего детского развития, так как включают в себя в первую очередь детские сады и начальные классы.

Следующим этапом исследования стал анализ ситуации на возможность проектирования образовательных кластеров в тех районах города, которые вообще не имеют в своей структуре детских образовательных учреждений дополнительного образования. Результатом второго этапа стали выводы о прямой зависимости количества ОКРР в каждом районе города от необходимости обслуживания жилой застройки с учетом плотности населения; проектирование ОКРР в сложившейся структуре города можно разделить на два типа: формирование кластеров из существующих образовательных единиц путем визуальных и игровых средовых приемов в городском пространстве, а также проектирование абсолютно новых комплексов с уникальной архитектурой на неосвоенных территориях.

В результате анализа размещения образовательных объектов в ПС Волгограда была составлена сравнительная таблица типологических моделей образовательных кластеров: оранжевый — полифункциональные объекты (ДЮЦы, детские сады); зеленый — монофункциональные объекты (школы, музеи, библиотеки и др.); фиолетовый — несколько функций объекта (табл.).

Существующие объекты детского образования г. Волгограда

Тип объекта	Масштаб обслуживания		
	Микрорайон	Район	ПС города
Локальный	Школа в МКР «Дар-гора»	Детская школа искусств в Дзержинском р-не	ДК Гагарина в Краснооктябрьском р-не
Линейный	Семейный парк в МКР «Семь ветров»	Царицынский парк в Центральном р-не	Парк Победы в Центральном р-не
Средовой	Школа и детские сады в МКР «Новостройка»	Филиалы лицея № 5	Центральный ДЮЦ

Актуальность объединения существующих детских образовательных учреждений по территориальному признаку в кластеры раннего развития заключается в том, что для предоставления комплексного детского образования им не хватает общей связности функционирования. На данный момент эти объекты существуют самостоятельно и обособленно друг от друга, как самодостаточные единицы, и дают узкопрофильное образование. Если ДОУ станут элементами единого кластера (с помощью средовых средств связи), то детям станет гораздо удобнее и интереснее ходить на занятия, безопасно передвигаться пешком от одного объекта к другому без помощи родственников. Эти пути соединения элементов единой структуры должны быть яркими, безопасными, имеющими направляющие подсказки для учащихся и содержащими игровой контекст. Тогда дети смогут не только отдыхать и играть между занятиями, но и развивать навыки общения друг с другом.

В ходе анализа существующих междисциплинарных исследований в области кластерообразования и на основании собственных выводов были предложены *критерии объединения существующих детских образовательных учреждений в кластеры раннего детского образования* в сформированных районах города:

территориальная доступность — радиусы пешеходной доступности и обслуживания населения;

насыщенность разными по функционалу объектами дополнительного и основного образования;

развитая транспортная инфраструктура в районе объединения объектов в кластер.

В качестве *критериев размещения новых кластеров раннего детского образования* в районах города с отсутствием полифункциональных образовательных объектов можно предложить следующие:

территориальный критерий — объекты должны быть локальными или дискретными, доступными населению. Необходимо учитывать радиус обслуживания и пешеходной доступности и размещать такие учреждения в центре каждого микрорайона. Расчет вместимости будет производиться исходя из плотности населения и размеров обхватываемой территории;

новизна как критерий привлекательности компонентов возможного кластера — новые объекты ОКРР следует размещать внутри жилой застройки, там, где на существующее количество жилых домов не хватает детских садов и школ, а также при отсутствии учреждений дополнительного образования;

транспортный аспект и традиционная пешеходная доступность — кластеры детских образовательных учреждений должны быть вписаны в регулируемую и безопасную транспортную инфраструктуру, иметь доступные проезды и подъезды к своей территории, автомобильные парковки и территориальную близость остановок общественного транспорта;

природный (экологический потенциал территории) — каждый объект ОКРР должен иметь свою территорию с зелеными площадками и озеленением, так как детям необходимо бывать на свежем воздухе, вдали от городского шума и движения.

Объекты ОКРР в структуре Волгограда могут быть локальными и дискретными. В результате оценки качественных и количественных критериев

размещения объектов образования в планировочной структуре Волгограда были сделаны следующие выводы:

1. Неравномерное распределение объектов детского образования в планировочной структуре города: Центральный район — 70 %; Ворошиловский, Дзержинский, Краснооктябрьский — 20 %; Кировский, Советский, Тракторозаводской, Красноармейский — 10 %.

2. Функциональный состав и типология объектов ограничены рамками типового проектирования советских времен.

3. Структура средового контекста может быть определена только для одного узла — Центрального кластера.

В контексте планировочной структуры Волгограда предложены две модели построения кластера — *замкнутая* (в системе городской застройки) и *открытая* (на новых территориях с возможностью перспективного роста). Существующим моделям размещения образовательных учреждений в Волгограде не хватает средовой связности, так как они были спроектированы по устаревшей советской системе, основанной в первую очередь на радиусах пешеходной доступности.

Для дальнейшего проектирования ОКРР необходимо сформулировать и перечислить обязательный состав его функционального наполнения и смоделировать для него универсальную схему кластера.

Формирование образовательных кластеров раннего развития детских образовательных учреждений в Волгограде можно разделить на две категории: 1) объединение существующих объектов образования, расположенных в пешеходной доступности друг от друга, в единые территориальные комплексы путем применения сценарного подхода (средовые и визуальные связи — цвет, малые архитектурные формы, сценарии освещения, материалы мощения и покрытий пешеходных путей); 2) проектирование абсолютно новых объектов.

Объекты ОКРР также могут быть локальными — сосредоточенными на одной территории, или дискретными — разделенными на несколько корпусов, расположенных внутри планировочной структуры города. Первые больше подходят для новых проектируемых объектов, вторые — как для существующих учреждений образования, так и для предполагаемых новых комплексов.

Критериями объединения существующих детских образовательных учреждений в кластеры раннего детского образования в сформированных районах города, как уже отмечалось, являются территориальная доступность — радиусы пешеходной доступности и обслуживания населения; насыщенность разными по функционалу объектами дополнительного и основного образования; развитая транспортная инфраструктура в районе объединения объектов в кластер.

Рассмотрим *универсальный функциональный состав детского образовательного кластера* и взаимосвязь его элементов. Необходимые элементы кластера можно разделить на несколько групп (блоков): базовое образование (дошкольное и начальное школьное, с 1-го по 4-й класс); дополнительное образование; общее спортивное развитие; развлечения и отдых [9]. Качество объектов образования предъявляет особые требования к архитектуре учебных зданий. В настоящее время все большую актуальность приобретает поиск нового образа школы, вдохновляющего на учебу, творчество, развитие, раскрытие

индивидуальности и характера[1] [10]. Разработка концепции современного образовательного учреждения требует взаимосвязанного подхода специалистов разных профилей, как архитектора, так и педагога, учитывая учебные процессы и их нюансы. В любой искусственно создаваемой для детей предметно-пространственной среде взрослые всегда воплощают свое представление о том, что полезно и хорошо для ребенка. Поэтому необходимо узнавать и учитывать мнение детей при проектировании детских учебных объектов[2] [11].

Для новых кластерных образований в процессе работы были формулированы следующие принципы проектирования:

полифункциональность — насыщенность разными по функционалу элементами или объектами дополнительного и основного образования;

принцип уникальности — отказ от типовых проектов школ, ДДУ и др., проектирование оригинальных объектов, вписывающихся в концепцию городской среды;

сетевой принцип — территориальное размещение объектов внутри сети застройки с учетом радиусов доступности, вместимости и других нормативов;

принцип адаптивной среды — развитая транспортная инфраструктура в районе проектирования и возможность безопасного передвижения учащихся по территории кластера и по пути к нему от остановки общественного транспорта;

принцип самостоятельности — проектирование территории кластера как самостоятельной и самодостаточной структуры внутри городской планировки, огороженной от внешних объектов;

принцип доступности для населения — должны быть предусмотрены условия беспрепятственного, безопасного и удобного передвижения МГН.

Должен быть реализован комплексный подход к проектированию, который заключается в учете различного рода национальных, социальных, территориальных и природно-климатических особенностей того региона, в котором предполагается создание кластера.

Территориальные характеристики, такие как географическая неоднородность размещения детских образовательных учреждений в городской планировке, неравномерное распределение трудовых ресурсов и населения в целом, указывают на то, что определенные территории являются объективно более насыщенными, чем другие, более восприимчивыми к нововведениям и обладающими более высоким потенциалом. Критерии выбора территории для проектирования объектов, относящихся к сфере образования: высокая плотность жилой застройки; отсутствие учреждений детского образования и развития или их малое количество; доступные незастроенные участки территории; наличие природного ресурса.

Для построения закрытой модели образовательного кластера раннего развития была предложена территория Центрального района в пределах улиц

[1] Cullinan Studio. SMU School of Information Systems, Singapore. URL: cullinan studio.com.

URL: https://worldarchitecture.org/architecture-projects/menh/mouriz_school-project-pages.html.

[2] URL: https://www.archdaily.com/174417/mouriz-school-atelier-nuno-lacerda-lopes.

Калинина, Краснознаменской, Глубокоовражной и Коммунистической, Комсомольской и Нулевой продольной. В него входят: Центральный ДЮЦ, Волгоградский цирк, исторический парк «Россия — моя история», Сквер Александры Пахмутовой, Парк Победы и Центральная набережная, Городской детский парк и Комсомольский сад, Сурский сквер, Александровский сад, Краеведческий музей, Детская центральная городская библиотека им. А. С. Пушкина, художественная школа № 1, музыкальные школы № 1 и 14, три общеобразовательных школы и шесть детских садов. Данная территория насыщена образовательными объектами. Для объединения существующих объектов в территориальный кластер предлагается обозначить пути сообщения между ними с помощью пространственно-средовых средств.

Для построения открытой модели образовательного кластера раннего развития была выбрана территория Советского района — микрорайона «Новостройка» и жилого комплекса «Родниковая долина». Данная территория содержит в основном застройку индивидуальными жилыми домами, а также новую застройку квартального типа и природные участки (Купоросная балка). На данный момент на выбранной территории функционируют три общеобразовательных школы и семь детских садов. Территория микрорайона имеет потенциал развития планировочного решения, а также возможность расширения радиуса застройки жилыми комплексами с южной стороны. Для объединения образовательных учреждений «Новостройки» в универсальный кластер предлагается создание трех новых корпусов: главный корпус, в котором будут собраны все функции детского образования, кроме школьного обучения, — танцы, музыка, актерское искусство, рисование и декоративно-прикладное искусство, изучение иностранных языков, шахматный кружок, научное направление (изучение роботов и т. д.) и др.; спортивный корпус с бассейном и спортзалами; корпус углубленного дополнительного образования — рисование, музыка, декоративно-прикладное искусство.

Расположить главный корпус предлагается на участке в границах ул. Родниковой, Черемуховой, переулков Ващенко и Николая Сарафанова; размещение корпуса дополнительного образования — на свободном участке по ул. Курсекова рядом с детским садом № 11, поблизости расположены небольшие пруды и природная зона; размещение спортивного корпуса — на участке в границах ул. Коганова и Михаила Чембарова. Связи между всеми элементами кластера можно обеспечить с помощью пространственно-средовых средств.

Для построения сетевой модели образовательного кластера раннего развития может быть предложена территория Краснооктябрьского района в пределах Проспекта Ленина и ул. Маршала Еременко, Рихарда Зорге и Богунской. В него входят: ДЮЦ, пять общеобразовательных школ, девять детских садов, Сквер им. 70-летия Победы. Для объединения существующих объектов в территориальный кластер предлагается обозначить пути сообщения между ними с помощью пространственно-средовых средств, благоустроить территории, прилегающие к учебным зданиям, с использованием детских игровых элементов, а также обеспечить безопасность пешеходного передвижения в границах кластера.

Итогом данного этапа исследований стало выявление главной территориальной особенности перспективного формирования ОКРР в структуре

Волгограда: его «рыхлая» пространственная структура вне зависимости от насыщенности самими объектами образовательной системы. Идеализированность главной идеи создания кластера раннего развития основана на попытке объединить в одном месте элементы «обязательного» начального и дополнительного образования, тем самым давая ребенку разностороннее развитие как личности и свободу выбора обучающих направлений. Это не стандартное образовательное учреждение с набором обычных образовательных функций, это многофункциональный пространственный центр. Объекты кластера не должны быть типовыми, как здания советских школ и детских садов. Уязвимость замечательного замысла формирования ОКРР кроется в его заведомой дотационности, что делает сам процесс далеко не гипотетической проблемой эволюционирования социума.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Савзиханова С. Э.* Развитие кластерных форм организации инновационно-образовательной среды макрорегиона на базе сетевых информационных технологий: концепция, модели, методы, инструментарий : автореф. дис. … д-ра экон. наук : 08.00.05. Ростов н/Д., 2017.

2. *Porter M.* The Competitive Advantages of Nations. The Macmillian Press LTD., 1990.

3. *Войнаренко М. П.* Кластеры в институциональной экономике. СПб. : АНО ИПЭВ, 2013. 496 с.

4. *Brown R.* Clusters, supply chains and local embeddedness in Fyrstad // European Urban and Regional Studies. 2000. Vol. 7. No. 4. Pp. 291—305.

5. *Даньшина В. В., Кехян М. Г., Шуваев М. А.* Теоретические аспекты инновационного развития высшего учебного заведения // Экономика образования. 2015. № 3(88). С. 12—18.

6. *Брундукова В. А., Денисенко Е. В.* Принципы формирования образовательных центров // Изв. КазГАСУ. 2018. № 3(45). С. 81—87.

7. *Шеина С. Г., Бабенко Л. Л.* Методика перспективного планирования размещения образовательных учреждений при реконструкции городских территорий // Изв. высш. учеб. заведений. Сев.-Кав. регион. Сер. : Техн. науки. 2010. № 5. С. 80—82.

8. *Ястребова Н. А., Крюкова А. С.* Объекты образовательных учреждений раннего развития детей как ресурс для формирования образовательного кластера в планировочной структуре г. Волгограда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. Вып. 4(81).

9. *Загрядская А.* 7 школ от архитектурных бюро. Школы будущего, которые проектируются и уже построены в разных странах мира. URL:http://nwtn.me/architecture-of-school.

10. From blind spots to hotspots: how knowledge services clusters develop and attract foreign investment / S. Manning, J. E. Ricart, M. S. R. Rique, A. Y. Lewin // Journal of International Management. 2010. Vol. 16. No. 4. Pp. 369—382.

11. *Grosvenor I., Burke C.* School. Reaction Books, 2008. 224 p.

© Ястребова Н. А., Стеценко С. Е., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Ястребова Н. А., Стеценко С. Е. Типология образовательных кластеров раннего развития в структуре Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 284—293.

Об авторах:

Ястребова Наталья Александровна — канд. архитектуры, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; yas_na71@mail.ru

Стеценко Светлана Евгеньевна — канд. техн. наук, доц. каф. урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; stezenko-s@mail.ru

Natalia A. Yastrebova, Svetlana E. Stetsenko

Volgograd State Technical University

TYPOLOGY OF EARLY DEVELOPMENT EDUCATIONAL CLUSTERS IN THE CITY OF VOLGOGRAD

The article deals with the territorial aspects of the emergence of children's educational clusters of pre-school education in Volgograd; a typology of possible spatial links of educational institutions of early childhood development, existing as an interconnected system with the planning structure of the city is formulated. The article contains recommendations for predicting the process of clustering in the urban design system.

K e y w o r d s: education cluster, typology.

For citation:

Yastrebova N. A., Stetsenko S. E. [Typology of early development educational clusters in 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], 2021, iss. 4, pp. 284—293.

About authors:

Natalia A. Yastrebova — Candidate of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yas_na71@mail.ru

Svetlana E. Stetsenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; stezenko-s@mail.ru

УДК 72(470.43)

В. А. Самогоров

Самарский государственный технический университет

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОБОРОННОГО КОМПЛЕКСА СТРАНЫ В г. КУЙБЫШЕВЕ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Исследуется процесс градостроительного формирования Куйбышева в предвоенные и военные годы, когда правительство СССР, предвидя угрозу надвигающейся войны, в экстренном порядке меняло концепцию развития народнохозяйственного и оборонного комплекса страны, что для Куйбышева закончилось отказом от строительства Волжского гидроузла в Красноглинском створе Жигулевских гор и размещением в городе трех мощных авиазаводов, которые стали основой возникновения крупнейшего индустриального района Безымянки. Кроме того, в городе на 116-м км был построен крупный нефтеперерабатывающий завод с рабочим поселком, а также реконструировались предприятия, возникшие в дореволюционные и 1930-е гг. с жилыми районами при них. Все они строились в русле общей концепции социалистического города, как и жилые поселки при предприятиях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: оборонный комплекс, группа предприятий авиационной отрасли промышленности, индустриальный район Безымянка, промышленные предприятия, жилая застройка 1940-х гг.

До 1940 г. концепция градостроительного развития г. Куйбышева оставалась достаточно неопределенной. В генеральном плане 1937 г. был намечен общий вектор пространственного развития города в северо-восточном направлении, определено место для строительства крупного промышленного района с автомобильным заводом тяжелых грузовиков в районе Безымянки, в 1938 г. начато строительство крупнейшего в мире Волжского гидроузла в Красноглинском створе Жигулевских гор, для обеспечения его электроэнергией началось строительство Безымянской ТЭЦ, велись поиски месторождений нефти. Однако уверенности в правильности выбора направления дальнейшего развития города ни у правительства, ни у городских властей не было, пока в начале 1940 г. ЦК ВКП(б) и Совнарком СССР не приняли решение по титульному списку основных заводов, размещаемых на Безымянской промплощадке города. Руководство страны к этому времени отчетливо осознало, что неотвратимо надвигается война, и поэтому срочно пересматривало все планы развития страны, намеченные на третью пятилетку, в том числе и перспективы развития Куйбышева [1].

Формирование комплекса предприятий Наркомата авиационной промышленности (НКАП). В 1940 г. правительство страны сообщает руководству Куйбышева о решении разместить в районе Безымянки несколько авиазаводов Народного комиссариата авиационной промышленности и распоряжается немедленно отвести для них территорию. Сразу же исполком куйбышевского горсовета (протокол № 24 от 15 апреля 1940 г.) по вопросу «О предоставлении участка НКАП под строительство завода № 122» постановил отвести под строительство завода № 122 юго-восточную территорию городских земель, расположенную в Безымянском промрайоне, площадью 300 га. Вслед за этим горисполком выносит постановление (протокол № 24 от

16 апреля 1940 г.) об отводе НКАП под строительство заводов № 337 и № 339 «бис» участка площадью 130 га[1]. Одновременно с отводом территории для размещения авиазаводов Президиум Горсовета выделяет участки в районе жилстроительства Безымянки под жилое и культурно-бытовое строительство для рабочих и служащих авиазаводов. Для жилого и культурно-бытового строительства заводам НКАП в дополнение к кварталам № 584, 609, 610, 632, 633, 707, 709 были еще отведены кварталы № 634, 655, 656, 657, 678, 689, 691, 710, 711 в Безымянском жилом районе общей площадью 85 га со сносом жилых и надворных построек за счет заводов НКАП (протокол № 22 заседания Исполкома Горсовета от 10.04.1940 г.).

24 июля 1940 г. нарком внутренних дел СССР Л. П. Берия направляет И. В. Сталину письмо за № 300/Б-сс с основными параметрами проекта Постановления ЦК ВКП(б) и СНК СССР «О строительстве четырех авиационных заводов в районе города Куйбышева»: двух самолетостроительных и двух моторостроительных заводов. Окончание строительства первой пары заводов планировалось на июнь 1942 г., второй пары заводов — на ноябрь 1943 г[2]. На этом письме стояла резолюция И. В. Сталина: «Переработать — сократить срок. Срок — в конце 1941 г.». Через две недели после письма Л. П. Берии И. В. Сталину, 6 августа 1940 г., вышло Постановление № 343-сс Государственного комитета обороны при СНК СССР «О строительстве авиационных заводов самолето- и моторостроения».

Комитет обороны при СНК СССР постановил приступить в 1940 г. к строительству трех новых авиазаводов в районе г. Куйбышева на Безымянской и Падовской площадках: самолетостроительного завода № 122; самолетостроительного завода № 295; моторостроительного завода № 337. Были установлены сроки окончания строительства, монтажа и пуска заводов с 31.12.1941 г. до 01.05.1942 г. Строительство было возложено на НКВД СССР, проектирование заводов — на Наркомат авиационной промышленности (на 1-й ГПИ). НКВД СССР обязывалось закончить строительство БТЭЦ мощностью 50 тыс. кВт в 1941 г. и мощностью 100 тыс. кВт к концу 1942 г. Для первого периода эксплуатации заводов НКВД разрешалось строить жилье облегченного типа с использованием местных стройматериалов и дерева. НКВД СССР организовало специальное управление на правах Главка по строительству заводов. Постановление было подписано Председателем ГКО К. Е. Ворошиловым[3].

В соответствии с этим постановлением 28 августа 1940 г. было создано Управление особого строительства (УОС) НКВД СССР для строительства группы авиационных заводов на станции Безымянка. Основными подразделениями Особстроя стали: I район — строительство заводов № 122 и 295; II район — строительство заводов № 337 и 281 (карбюраторный); III район — строительство заводского аэродрома и шоссейных межрайонных дорог; IV район — строительство жилого поселка; V район — строительство теплоцентрали (БТЭЦ). Руководителем Особстроя был назначен старший майор Госбезопасности А. П. Лепилов. Для обеспечения строительства дешевой

[1] ЦГАСО. Ф. Р-2064. Оп. 2. Д. 2.
[2] ЦГАСО. Ф. Р-2064. Оп. 2. Д. 143. Л. 54—56.
[3] Там же. Д. 3.

рабочей силой был организован исправительно-трудовой лагерь Безымянлаг. Особое строительство стало крупнейшей стройкой в СССР, хотя об этом мало кто знал не только в стране, но и в самом Куйбышеве.

Вести одновременно две гигантские стройки — гидроэлектростанции и группы авиазаводов — становилось невозможным, поэтому 24 сентября 1940 г. вышло Постановление Совнаркома СССР и ЦК ВКП(б) о консервации строительства Куйбышевской ГЭС в Красноглинском створе. Приказом НКВД СССР № 0440 от 11 октября 1940 г. УС КГУ расформировалось, а все объекты строительства и инфраструктуры были переданы в ведение Управления особого строительства.

В октябре 1940 г. на станции Безымянка началось строительство основных цехов авиационных заводов № 122, 295 и 337 и жилгородка для работников этих предприятий[4]. 23 ноября 1940 г. экономсовет при СНК СССР своим постановлением утвердил схему генерального плана Куйбышева[5].

Начало Великой Отечественной войны ускорило процесс эвакуации предприятий вглубь страны. Уже в августе 1941 г. в Куйбышев начали прибывать эшелоны с оборудованием и семьями работников оборонных предприятий, перемещаемых из Ленинграда, Киева, Риги, Днепропетровска, Воронежа и других городов западных районов страны. В этой обстановке особое значение приобретало скорейшее завершение строительства авиазаводов на Безымянке.

Дирекции строящихся заводов № 122, 295 и 337 были объединены с дирекциями эвакуированных заводов № 1 им. Сталина, № 18 им. Ворошилова и № 24 им. Фрунзе соответственно и в дальнейшем функционировали как Куйбышевские заводы № 1, 18, 24 НКАП (рис. 1, 2).

Рис. 1. Заводы № 1 и 18 (завод им. Сталина, завод им. Ворошилова), немецкий аэрофотоснимок 1942 г. (блог И. Кондратьева «Город на реке Самаре»)[6]

[4] СОГАСПИ. Ф. 656. Оп. 18. Д. 26. Л. 40—42.
[5] ЦГАСО. Ф. Р-56. Оп. 49. Д. 26. Л. 8.
[6] URL: http://gregorkon.wordpress.com/2010/10/19/22-101-1.

Рис. 2. Завод № 24 (завод им. Фрунзе), немецкий аэрофотоснимок, 1942 г. (блог И. Кондратьева «Город на реке Самаре»)[7]

Распоряжением № 12153-рс от 01.11.1941 г. Наркомтанкопрому был передан механический завод Особстроя НКВД СССР со всем оборудованием, транспортом, вольнонаемными кадрами, жилым фондом и подсобным хозяйством (Постановление ГКО от 04.10.1941 г. и ГКО-732-сс).

13 ноября 1941 г. на заводе № 18, эвакуированном из Воронежа, был смонтирован первый комплект крупных стапелей для сборки самолетов[8]. 26 ноября в соответствии с приказом НКАП СССР № 1152-сс в целях обеспечения быстрейшего выпуска на заводе № 1 самолетов Ил-2 задел по самолету Миг-3 по всем цехам прекращен. Станочный парк всех цехов немедленно направлен на изготовление деталей для самолета Ил-2[9]. 30 ноября в Куйбышев со станции Ступино Московской области прибыл завод № 35, производящий воздушные винты. Оборудование прибывшего завода разместили на территории завода № 18[10].

В соответствии с приказом НКАП СССР № 1151-сс эшелоны заводов № 1, 18, 24, 305 и 150 должны были прибыть в Куйбышев до 23 ноября 1941 г. В целях ускорения пуска эвакуированных заводов мобилизованы 15 000 чел. Введена поощрительная система заключенным за форсированное строительство заводов путем досрочного освобождения до 500 заключенных, применения зачетов за хорошую работу до 3—5 дней за один день работы и введения дополнительного питания для перевыполняющих установленные нормы.

[7] Там же.
[8] СОГАСПИ. Ф. 656. Оп. 34. Д. 153. Л. 14.
[9] ЦГАСО. Ф. Р-3562. Оп. 1. Д. 1. Л. 374.
[10] СОГАСПИ. Ф. 714. Оп. 1. Д. 900. Л. 30.

На 21 ноября 1941 г. в Куйбышев было эвакуировано три завода НК вооружения, 16 заводов НКАП, а также предприятий других наркоматов[11]. 5 октября в Куйбышев из Москвы прибыл последний эшелон с оборудованием 1-го Государственного подшипникового завода им. Л. М. Кагановича — 17 платформ. Завод размещен на площадке Линдовских казарм Военведа. С 21 ноября предприятие приступило к выпуску подшипников[12]. 15 января 1942 г. в Куйбышеве на эвакуированном из Москвы заводе № 1 им. Сталина закончен монтаж и пуск оборудования[13]. На 1 января 1942 г. в район Безымянки прибыло 49 тыс. рабочих и служащих с эвакуированных заводов. Управлением особого строительства НКВД СССР были завершены все первоочередные строительно-монтажные работы по созданию мощной авиационной базы в Куйбышеве. Было построено около 1 млн м^2 производственных и жилых площадей[14].

О результатах этой грандиозной работы в январе 1942 г. докладывал Секретарь Куйбышевского обкома ВКП(б) Канунников. В частности, он сказал, что в Куйбышеве Управление особого строительства НКВД СССР завершило первоочередные строительно-монтажные работы по созданию мощной авиационной базы. За 1941 г. построены: самолетостроительный завод № 122, где размещен эвакуированный из Москвы завод № 1; самолетостроительный завод № 295, где размещен эвакуированный из Воронежа завод № 18; моторостроительный завод № 337, где размещен эвакуированный из Москвы завод № 24; аэродром, наиболее мощный из существующих; завод № 454, производящий вооружение самолетов; завод № 145, производящий вооружение для самолетов; завод № 305, изготавливающий нормали; завод № 35, производящий пропеллерные винты; завод № 1 Оргавиапрома, выпускающий пневматическое оснащение самолетов; 1-я очередь Безымянской ТЭЦ мощностью 50 тыс. кВт (рис. 3); достроена и расширена Куйбышевская ТЭЦ, что позволило ввести дополнительную мощность в 12 тыс. кВт; рабочий поселок на 160 тыс. м^2 жилой площади; построен и оборудован механический завод по изготовлению бронекорпусов для самолетов Ил и бронекорпусов для танков; выстроен и работает объект № 30—31 радиостанция ТАСС; закончен строительством и готов для эксплуатации объект «А» — командный пункт специального назначения; закончена строительством 1-я очередь Кислородного завода с суточной мощностью в 100 м^3; строится специальный цех Наркомата вооружения на территории паровозоремонтного завода им. Куйбышева; развернуто строительство объекта № 15 — мощной подземной радиостанции. Всего выстроено около миллиона квадратных метров производственных и жилых площадей[15]. 28 июня 1942 г. НКАП СССР издал приказ о выпуске заводом № 207 бронекорпусов самолета Ил-2[16].

[11] ЦГАСО. Ф. Р-3562. Оп. 1. Д. 1. Л. 374.
[12] СОГАСПИ. Ф. 656. Оп. 2. Д. 48. Л. 20, 216.
[13] Там же. Д. 103. Л. 164.
[14] Там же. Оп. 33. Д. 307. Л. 18.
[15] ГАКО. Ф. П-656. Оп. 20. Д. 43. Л. 1—3.
[16] ЦГАСО. Ф. Р-4131. Оп. 3. Д. 4. Л. 33—35.

Рис. 3. Строительство 1-й очереди Безымянской ТЭЦ, вид на котельное, 1940 г. (фото из архива БТЭЦ)

Строительство жилого района авиационных заводов. Согласно Постановлению Совнаркома СССР и ЦК ВКП(б) № 233-108-сс от 1 февраля 1941 г., вместе со строительством авиационных заводов Особстрою предписывалось возвести в кратчайшие сроки жилые кварталы, коммунальные сооружения, транспортные сети, объекты соцкультбыта. Особстрою предписывалось создать современную транспортную инфраструктуру, в том числе в старой части Куйбышева. 13 марта 1941 г. Указом Президиума Верховного Совета РСФСР в Куйбышеве образован Кировский район за счет разукрупнения Молотовского городского района и присоединения Зубчаниновского сельсовета[17].

Новые жилые кварталы стали строиться вдоль 1-го Безымянского проезда (Кировского шоссе) и 2-й улицы Безымянки (ул. Победы). В 1940 г. Московским отделением сектора планировки и инженерного оборудования института «Горстройпроект» Наркомстроя СССР было выполнено два проекта — проект детальной планировки кварталов № 613, 634 и 657 жилкомплекса заводов НКАП и проект детальной планировки кварталов № 707, 709, 710 и 711 поселка строителей НКАП. В соответствии с ними велось жилищное и культурно-бытовое строительство [2].

Кварталы № 613, 634 и 657 размещались в границах существующих улиц Победы, XXII Партсъезда, Свободы, Ново-Вокзальной и имели размеры в плане 336 × 350 м. В продольном направлении они делятся бульваром, а в поперечном — скверами. На пересечении бульвара и скверов запроектированы школы на 880 и 440 чел. В результате в каждом квартале образовалось по четыре жилых двора с детскими садами на 150 детей, яслями на 120 детей и хозяйственными постройками внутри. Запроектирован гараж на 20 автомобилей. По периметру кварталов располагалась 4—5-этажная застройка, внутри — 2-этажные здания. Со стороны ул. Победы в первых

[17] Там же. Ф. Р-2195. Оп. 1. Д. 225. Л. 74.

этажах жилых домов расположены объекты социально-бытового обслуживания, а также отдельно стоящий кинотеатр на 800 мест. В кварталах № 634 и 657 со стороны ул. Победы организованы зеленые курдонеры. Площадь застройки кварталов составляла 10; 11,6; 11,8 га. Расчет жилой площади производился по двум вариантам: исходя из нормы жилой площади 9 м^2/чел. и 6 м^2/чел. Соответственно, плотность заселения в среднем составляла 450 чел./га по первому варианту и 660 чел./га по второму варианту. Проект не был реализован.

Кварталы № 707, 709, 710 и 711 проектировал Гостройпроект Наркомстроя СССР (московское отделение, сектор объемного проектирования, заказчик: 1 ГПИ-К, авторы: управляющий отделением Кормер, главный архитектор отделения Каток, руководитель сектора объемного проектирования Чернышев, автор проекта планировки Смирнов, руководитель бригады Яковлев, 1940). Согласно проекту детальной планировки, кварталы располагались на пересечении 2-й Безымянной улицы (ул. Победы) и Кировского шоссе. Квартал № 710 находился между современными улицами Победы, Воронежской и Краснодонской, а кварталы № 711, 709 и 707 — вдоль пр. Кирова, между улицами Победы и Юных Пионеров. Участок под строительство поселка строителей отведен Исполнительным комитетом Куйбышевского горсовета решением № 22/19 от 10 апреля 1940 г.

В квартале № 710 со стороны ул. Победы организован зеленый курдонер с Клубом строителей. Параллельно ул. Победы продольный бульвар делил квартал на две части. В результате внутри квартала были организованы пять жилых дворов. Застройка кварталов периметральная. На ул. Победы выходят 4—5-этажные жилые дома. В структуре квартала размещались школа на 880 учащихся, два детсада по 100 детей, два детсада по 120 детей, баня на 180 мест, прачечная, котельная, трансформаторная, сараи, торговые ларьки. Внутри кварталов располагались 2-этажные жилые дома на 12 и 18 квартир, рядовые и угловые. Вся застройка запроектирована на основе типовых решений.

В кварталах № 711, 709 и 707 со стороны пр. Кирова были организованы зеленые курдонеры, которые делили их на две жилые группы, в каждой находились детские сады и ясли, хозяйственные постройки. Жилые дома — 2-этажные, запроектированы на основе рядовых, угловых и П-образных секций, имеют по 12 и 18 квартир. В квартале № 711 запроектированы поликлиника на 250 мест, столовая на 200 мест, спортплощадки. В квартале № 709 также имелась столовая на 200 мест. В кварталах запроектированы водопровод и канализация. Проект с незначительными изменениями был осуществлен.

Параметры квартала № 710 и масштаб его застройки были определены существующим соседним кварталом № 680, но, в отличие от него, квартал имел иную пространственную организацию. На территории квартала № 710 площадью 11,8 га расположились три обособленные, замкнутые группы зданий. Жилые комплексы, выходящие на угол ул. Победы 4-этажными домами, отделяются друг от друга широкой полосой зеленого сквера. За Театральным проездом располагается комплекс 2-этажной застройки. В более поздних проектных документах застройка в границах улиц Воронежской, Свободы, Краснодонской и Театрального проезда обозначалась как квартал № 710-А.

4-этажные жилые дома по ул. Победы, 100, 102, 104, 106 выделялись в документах отдельной графой, но они в процессе строительства не имели постоянной нумерации. Угловые дома 100 («дом № 1») и 106 по ул. Победы имели по

70 квартир. Оба здания имели продольную кирпичную стену и увеличенную ширину корпуса. Они в зеркальном отношении повторяют планировку друг друга. Здания состоят из четырех секций, две из которых 4-квартирные и две (угловые) — 6-квартирные, с нестандартной планировкой квартир и лестничных клеток. Подобная планировка была использована лишь в домах по ул. Победы, 102, 104, 106 и в других постройках Самары не встречается.

Из годовых и квартальных отчетов Особстроя известно, что 4-этажные дома строились одновременно. Работы нулевого цикла производились в 1941 г. Здание планировали к сдаче в конце 1941 г. Однако вскоре руководство Особстроя изменило свои планы. Начало застройки квартала № 710 с 4-этажных домов признали ошибочным, так как их возведение задерживало ввод в эксплуатацию менее затратных 2-этажных домов. Приоритет в строительстве был отдан малоэтажной застройке. Начавшаяся война и спешная эвакуация в Куйбышев авиационных заводов повлекли ускорение работ по строительству производственных корпусов. Жилое строительство было законсервировано.

Строительство Куйбышевского нефтеперерабатывающего завода. 21 августа 1943 г. руководством СССР было принято решение о строительстве Куйбышевского нефтеперерабатывающего завода. В связи с этим Указом Президиума Верховного Совета СССР в том же году был образован Куйбышевский район города. В сентябре 1943 г. в районе поселка Кряж начались работы по строительству крекинг-завода № 443. Строительством занималось Управление особого строительства НКВД СССР. В 1944 г. начался монтаж оборудования, которое было получено по ленд-лизу из США. К концу 1945 г. основные объекты были построены и сданы в эксплуатацию. В этом же году был выпущен первый автомобильный бензин.

Проектированием завода и рабочего поселка, так называемого Соцгорода, занималась архитектурно-проектная мастерская академика В. А. Веснина «Гипронефтезаводы» Министерства нефтяной промышленности СССР, руководителем которой он являлся с 1934 г. Позже эта мастерская разработала проект города Новокуйбышевска. Главным архитектором мастерской был И. С. Николаев, один из основоположников промышленной архитектуры в нашей стране, автор дома-коммуны Текстильного института на ул. Орджоникидзе в Москве (1929—1931). Главным архитектором отдела № 2 мастерской был С. Е. Вахтангов, главным архитектором проектов — М. Н. Слотинцева. Мастерская занималась проектированием предприятий нефтяной промышленности и поселков при них на территории всего Советского Союза. Архитекторами мастерской — С. А. Маслихом, М. Н. Слотинцевой и О. А. Яфой — разработаны типовые проекты одно- и двухэтажных жилых зданий, которые были объединены в общую серию № 210 и получили широкое распространение по всей стране в 1940—1950-е гг. [3].

В сентябре 1945 г. Куйбышевский НПЗ был включен в число действующих предприятий. Рядом с предприятием был построен рабочий поселок с Домом культуры и стадионом. Рабочий поселок нефтеперерабатывающего завода сначала назывался Ново-Стройка, позже — Поселок нефтяников, а в 1950-е гг. его стали называть Соцгород. В 1946 г. в поселке имелось шесть бараков и 14 кирпичных домов[18].

[18] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Куйбышевский_нефтеперерабатывающий_завод.

Заводскую и селитебную территорию разделяет санитарно-защитная зона. На предзаводской площади размещены заводоуправление, Дом культуры, школа, стадион и другие объекты. Территория Соцгорода ограничена современными улицами Пугачевский тракт, Грозненской и Бакинской. В основу планировки положена система кварталов квадратной и прямоугольной формы с размерами 200 × 200, 140 × 400, 145 × 145, 110 × 160, 110 × 110, 240 × 165, 240 × 140, 240 × 100 м, площадью 1,2…4,0 га. Такое разнообразие габаритов кварталов позволило из типовых 2-этажных жилых зданий сформировать разные по качеству внутриквартальные пространства. Главной улицей, соединяющей рабочий поселок с заводом, является ул. Фасадная. На пересечении ул. Зеленой и Торгового переулка размещается центральный сквер с главным композиционным акцентом — Домом культуры, построенным в 1955 г. по проекту известного советского архитектора С. Е. Вахтангова [4].

В поселке построено несколько школ, почтовые отделения, магазины, детские сады, ясли, больница, бани, два дома культуры. Позднее был построен стадион «Нефтяник». По ул. Калининградской, 9 находится второй Дом культуры работников НПЗ, позже получивший название ДК «Машиностроитель». Обилие внутриквартальной зелени, центральный сквер и зеленые бульвары сближают концепцию соцгорода с концепцией довоенного города-сада. Застройка 1940-х гг. представлена 2-этажными зданиями, в 1950-е гг. построены 4-этажные здания.

Расширение Карбюраторного завода. В августе 1942 г. на территорию Куйбышевского карбюраторно-арматурного завода прибыло оборудование эвакуированного Ленинградского карбюраторного завода со всем личным составом, в ноябре — Московского завода автотракторного электрооборудования (АТЭ-1). 23 октября 1942 г. распоряжением Совнаркома три предприятия объединились в одно, которое стало называться Куйбышевский завод автотракторного электрооборудования и карбюраторов (КАТЭК).

Как выглядела ситуация с размещением промышленных объектов к 1943 г., показывает немецкая карта (рис. 4).

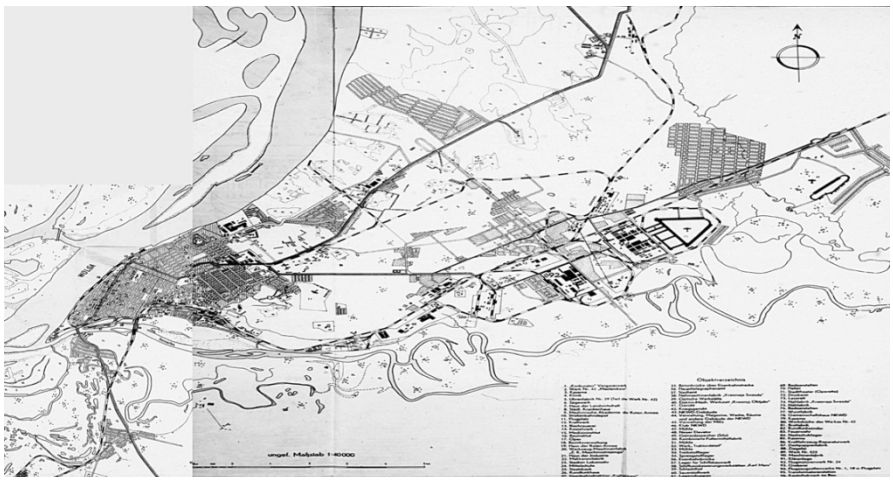


Рис. 4. Немецкая карта 1943 г. (блог И. Кондратьева «Город на реке Самаре»)[19]

[19] URL: https://gregorkon.wordpress.com/2010/11/05/5-10101010100.

Выводы

1. До 1940 г. ситуация с выбором направления социально-экономического развития г. Куйбышева и региона была достаточно неопределенной, до тех пор пока правительство страны не оценило реальные последствия начала войны и не приступило к формированию оборонного комплекса. В этой ситуации Куйбышев стал важной стратегической площадкой для размещения группы предприятий Наркомата авиационной промышленности и превратился в центр военного авиастроения.

2. Главным фактором размещения эвакуированной промышленности в Куйбышеве стало наличие энергетического комплекса, созданного в городе накануне войны для строительства Куйбышевского гидроузла. Кроме того, важными факторами размещения предприятий в городе были: наличие свободной площадки, зарезервированной под строительство автомобильного завода в районе железнодорожной станции Безымянки; наличие железной дороги общесоюзного значения, соединявшей западные и восточные районы страны; наличие важной транспортной артерии — реки Волги; близость грузовой реки Самарки; наличие транспортной и инженерной инфраструктуры гидроузла; перспективы создания топливной базы в связи с открытыми месторождениями нефти; наличие в городе высококвалифицированных кадров; создание крупных строительных организаций, наиболее мощными из которых были трест «Волжскпромстрой» и «Особстрой» НКВД СССР. Таким образом, мероприятия по развитию промышленности региона, определенные генеральным планом 1937 г., создали благоприятные условия для строительства на Безымянке эвакуированных заводов.

3. В 1940 г. было начато строительство трех авиационных заводов и жилого района для строителей и работников предприятий. На основе эвакуированных предприятий в годы войны был создан крупнейший производственный комплекс авиационного профиля, ставший основой формирования нового индустриального района Куйбышева — Безымянки. По сути, это был крупнейший промышленно-селитебный район, в котором реализовалась градостроительная концепция «социалистического города», в основе которой лежала идея прикрепления работающего населения к месту приложения труда, а архитектурно-планировочная структура строилась по принципу «архитектурного ансамбля» с выявлением главных магистралей и площадей архитектурными средствами; жилая застройка организовывалась на основе укрупненного квартала с элементами социально-бытового обслуживания в радиусе пешеходной доступности.

4. Во время войны все промышленные предприятия города и области перешли на выпуск военной продукции. Заводы стали выпускать противотанковые мины и бомбы, ручные гранаты и другие изделия. На предприятиях местной промышленности выпускалось военное обмундирование, хозяйственный инвентарь и пищевые концентраты. На территории области продолжалось строительство новых промышленных предприятий, в основном оборонного и топливно-энергетического комплекса. За годы войны в городе сложилась нефтяная промышленность, в 1945 г. был построен Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Самогоров В. А.* Архитектурная школа Самары (Куйбышева) в 1930—1950-е годы // Социология города. 2019. № 3. С. 44—55.
2. *Самогоров В. А., Антюфеев А. В.* Гипроавиапром: кварталы комплексной жилой застройки в г. Куйбышеве в 1940—1950-е годы // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство : сб. ст. 78-й Всерос. науч.-техн. конф. Самара, 2021. С. 10—28.
3. *Шпаков И. В.* История советской серии типовых проектов малоэтажных жилых домов 1940—1950 гг. архитектора С. А. Маслиха // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. Сер. : История и право. 2016. № 4(21). С. 185—193.
4. *Кожевников А. М.* От театра им. Мейерхольда к концертному залу им. П. И. Чайковского. К 75-летию со дня постройки // Architecture and Modern Information Technologies. 2015. № 3(32). URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2015/3kvart15/kozh/kozh.pdf.

© *Самогоров В. А., 2021*

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Самогоров В. А. Градостроительное формирование оборонного комплекса страны в г. Куйбышеве в годы Великой Отечественной войны // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 294—304.

Об авторе:

Самогоров Виталий Александрович — канд. архитектуры, проф., зав. каф. архитектуры, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 224; samogorov@mail.ru

Vitaly A. Samogorov

Samara State Technical University

URBAN PLANNING FORMATION OF THE COUNTRY DEFENSE COMPLEX IN KUIBYSHEV DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

The process of urban planning of Kuibyshev in the pre-war and war years is being investigated, when the USSR government, anticipating the threat of an impending war, urgently changed the concept of the development of the country's national economic and defense complex, which for Kuibyshev ended with the abandonment of the construction of the Volga hydroelectric complex in the Krasnoglinsky alignment of the Zhigulevsky mountains and the placement of three powerful in the city. In addition, a large oil refinery with a working village arose in the city at 116 km, and enterprises that arose in the pre-revolutionary and 1930s with residential areas under them were also reconstructed. All of them were built in line with the general concept of a socialist city, as residential settlements at enterprises.

K e y w o r d s: defense complex, group of enterprises of aviation industry, Bezymyanka industrial district, industrial enterprises, residential development of the 1940s.

For citation:

Samogorov V. A. [Urban planning formation of the country defense complex in Kuibyshev during the Great Patriotic War]. *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], 2021, iss. 4, pp. 294—304.

About author:

Vitaly A. Samogorov — Candidate of Architecture, Professor, Samara State Technical University. 224, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; samogorov@mail.ru

УДК 69.05:004

С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко

Волгоградский государственный технический университет

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассматривается важность цифровых технологий в обеспечении устойчивого развития не только строительного производства, но и экономики в целом. Отмечается, что применение цифровых технологий повышает основные характеристики экологической и экономической составляющих строительства, что в конечном итоге приводит к качественному решению ряда социальных задач. Учитывая основные положения концепции внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства, разработанной Минстроем РФ, предлагается применять цифровой классификатор строительной информации, состоящий из постоянно и (или) периодически обновляемых цифровых реестров и справочников. Представлена структура цифрового классификатора строительной информации, кратко описываются его составляющие. В табличной форме приведен перечень информационных моделей для каждой стадии жизненного цикла строительной системы. Подчеркивается, что процесс создания системы и способа объемного информационного моделирования жизненного цикла строительной системы необходимо начать со сбора атрибутивных данных. Сама система состоит из основного, дополнительного и вспомогательного серверов. Для наглядности представлена взаимосвязь основного, дополнительного и вспомогательного серверов для стадии строительства. Описывается вспомогательный сервер по контролю через системы ГЛОНАСС/GPS.

К л ю ч е в ы е с л о в а: устойчивое развитие, устойчивая инфраструктура, цифровые технологии, система и способ управления, классификатор строительной информации.

Применение цифровых технологий на всех стадиях жизненного цикла строительных систем в настоящее время имеет большое значение, так как оказывает непосредственное влияние на устойчивое развитие не только строительного производства, но и экономики в целом, поскольку «строительство имеет горизонтальные взаимосвязи и значительные взаимодействия с другими множественными отраслями экономики» [1].

Ранее в научных публикациях [2—4] авторами подчеркивалась значимость технологий BIM (Building Information Modeling) в строительстве, опыта применения, функций, повышения остаточного ресурса промышленной и строительной продукции, но при этом акцент был сделан на то, что именно данная цифровая технология является основой создания концепции устойчивого развития строительного производства [2].

В научных публикациях зарубежных исследователей [5] отмечается, что BIM-технологии имеют ряд неограниченных технических возможностей [5], позволяя сокращать материальные отходы строительного производства [6], улучшая основные характеристики экологической и экономической составляющих строительства, в конечном итоге решающих ряд социальных задач [7].

Если систематизировать основные доводы, приведенные в указанных публикациях, то за основу создания концепции устойчивого развития строительного производства должно приниматься следующее:

обеспечение экологической безопасности выполнения строительных технологических процессов;

повышение производительности труда;

сдача в эксплуатацию объектов недвижимости, обеспечивающих высокое качество жизнедеятельности людей.

Приведенные три аспекта отвечают требованиям триединства концепции устойчивого развития, принятой во второй половине прошлого века комиссией ООН по окружающей среде [8]. В документе подчеркивается, что «устойчивое развитие (УР) — развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Далее понятие УР способствовало возникновению понятия «устойчивая инфраструктура» (УИ). Под УИ понимается инфраструктура, предполагающая экономическую, экологическую, институциональную и социальную стабильность окружающей среды и общества как на стадии планирования и функционирования объектов, так и после вывода их из эксплуатации [8]. Создание подобной инфраструктуры возможно благодаря применению современных высокотехнологичных информационных технологий. В строительстве, как отмечалось выше, это BIM-технологии.

Важность применения цифровых технологий в обеспечении устойчивого развития строительного производства и экономики в целом отмечена в научных публикациях зарубежных авторов [9—12], а также российских ученых [13—15].

Так, в научных публикациях [13, 14] устойчивое развитие строительной отрасли рассматривается в контексте с «зеленым» строительством, т. е. речь идет об «управлении жизненными циклами объектов; методологии безопасности, энергоэффективности и энергосбережении; экологической сертификации теории и методов BIM-технологий» [13].

В связи с тем, что внедрение цифровых технологий является стратегической базой эффективной деятельности организаций строительной отрасли, Минстроем РФ разработана концепция внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства (ОКС) с использованием BIM-технологий. Согласно разработанной концепции (после некоторых доработок должна быть внедрена с 2023 г.) первоочередной задачей является создание общедоступного цифрового классификатора строительной информации (ЦКСИ).

ЦКСИ, в свою очередь, должен включать постоянно или периодически обновляемые цифровые реестры и справочники.

На рис. 1 представлена структура цифрового классификатора строительной информации.

Если говорить о системном подходе, то цифровые реестры и справочники являются подсистемами, отдельными информационными системами (ИС) ЦКСИ. Система состоит из множества серверов, обеспечивающих основные функции моделирования стадий первого этапа жизненного цикла строительной системы.

Основное назначение сервера ЦС-GIS заключается в обеспечении экологической безопасности строительного производства. Как отмечается в [16], геоинформационные системы (ГИС) предназначены для отображения

в цифровом виде пространственных объектов — архитектурных и объектов окружающей среды. И если задача BIM связана с представлением того или иного объекта строительства на микроуровне, то функция ГИС направлена на визуализацию окружающей обстановки объекта на макроуровне. Кроме того, их сочетание может создать всеобъемлющее представление о построенной среде на основе интегрированных данных [16, 17].

Рис. 1. Структура цифрового классификатора строительной информации

Сам процесс создания системы и способа объемного информационного моделирования жизненного цикла строительной системы необходимо начать с предпроектной стадии жизненного цикла объекта недвижимости, что подразумевает сбор атрибутивных данных, т. е. создание базы данных для остальных стадий жизненного цикла строительной продукции.

Рассмотрим способы использования информационных моделей (ИМ) на различных стадиях жизненного цикла здания или сооружения в табл. 1, которая составлена на основе СП 333.1325800.2020[1] с некоторыми изменениями (соответствующие строки таблицы выделены серым цветом). Стадии жизненного цикла представлены отдельными блоками.

Добавлена стадия сноса (утилизации) жизненного цикла строительной системы с характерными информационными моделями (ИМ5[1]–ИМ5[4]) и информационные модели (ИМ1[2], ИМ2[4], ИМ3[6], ИМ3[7], ИМ4[3], ИМ4[4]) других стадий жизненного цикла.

[1] СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. URL: https://docs.cntd.ru/document/573514520.

Таблица 1

Стадии жизненного цикла строительной системы и соответствующие способы использования технологии информационного моделирования

Стадии жизненного цикла здания или сооружения	Примерный перечень способов использования технологии информационного моделирования с условными номерами информационных моделей
1. Предпроектная подготовка строительства	Моделирование существующей ситуации (М1[1])
	Анализ местности строительной площадки (М1[2])
	Разработка и сравнение вариантов архитектурно-градостроительных концепций (М1[3])
	Определение технико-экономических показателей объемно-планировочных решений (М1[4])
	Визуализация (М1[5])
2. Проектная подготовка строительства	Разработка чертежей и спецификаций (М2[1])
	Проверка и оценка технических решений (М2[2])
	Пространственная междисциплинарная координация и проверка на коллизии (М2[3])
	Подсчет объемов работ, трудоемкости, продолжительности выполнения работ (М2[4])
	Оценка сметной стоимости (М2[5])
	Визуализация (М2[6])
3. Строительство	Имитация и визуализация процесса строительства (М3[1])
	Геодезические разбивочные работы (М3[2])
	Контроль качества строительства (М3[3])
	Формирование исполнительской документации (М3[4])
	Мониторинг охраны труда и безопасности на строительной площадке (М3[5])
	Выполнение строительно-монтажных работ (их цифровое сопровождение) — М3[6]
	Мониторинг экологической ситуации в процессе выполнения строительно-монтажных работ (М3[7])
4. Эксплуатация	Планирование всех видов ремонта и технического обслуживания (М4[1])
	Мониторинг эксплуатационных характеристик строительной системы (М4[2])
	Управление близрасположенными объектами недвижимости, которые могут отрицательно повлиять на эксплуатационные качества изучаемого объекта недвижимости (М4[3])
	Мониторинг экологической ситуации в процессе эксплуатации строительной системы (М4[4])
	Моделирование чрезвычайной ситуации (М4[5])
5. Снос (утилизация)	Планирование всех видов работ по демонтажу строительной системы (М5[1])
	Разработка решений по использованию вторичных решений (М5[2])
	Разработка решений по утилизации строительных отходов (М5[3])
	Мониторинг экологической ситуации в процессе эксплуатации строительной системы (М5[4])

Основной сервер предназначен для поддержания работы информационно-исполнительных моделей (ИМоделей), серверов других управляющих систем организаций, осуществляющих следующие стадии жизненного цикла:

предпроектную;

проектную;

строительства;

эксплуатации;

сноса (утилизации).

В систему также входят дополнительные серверы:

серверы внешних организаций соответствующего этапа жизненного цикла, средства связи по сопряжению серверов в единую сеть (ДС внешних организаций). Внешние организации выполняют экспертизу проектов, контроль на различных стадиях жизненного цикла, к ним относятся субподрядные организации и др.;

вспомогательные серверы организаций, осуществляющих стадии жизненного цикла с маршрутизаторами для обеспечения связи с электронными устройствами, находящимися в реальных информационно-исполнительских точках (ИТочках) объекта строительства.

Вспомогательные серверы организаций предназначены для управления следующими данными:

базы данных для хранения ИМоделей в виде файлов форматов информационного моделирования;

базы данных для хранения атрибутивных данных по ИТочкам ИМоделей в виде файлов других форматов;

информационными датчиками и исполнительными устройствами, установленными в ИТочках с каналами связи и аппаратно-программным сопряжением с соответствующими серверами.

На рис. 2 схематично представлена взаимосвязь серверов для стадии строительства.

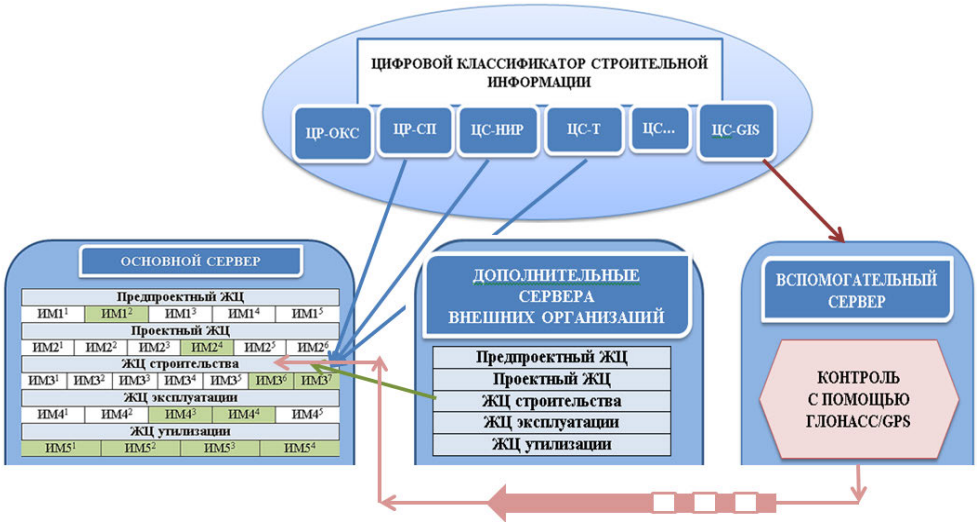


Рис. 2. Взаимосвязь основного, дополнительного и вспомогательного серверов для стадии строительства

Наиболее подробно схема вспомогательного сервера по контролю с помощью ГЛОНАСС/GPS для стации строительства приведена на рис. 3.

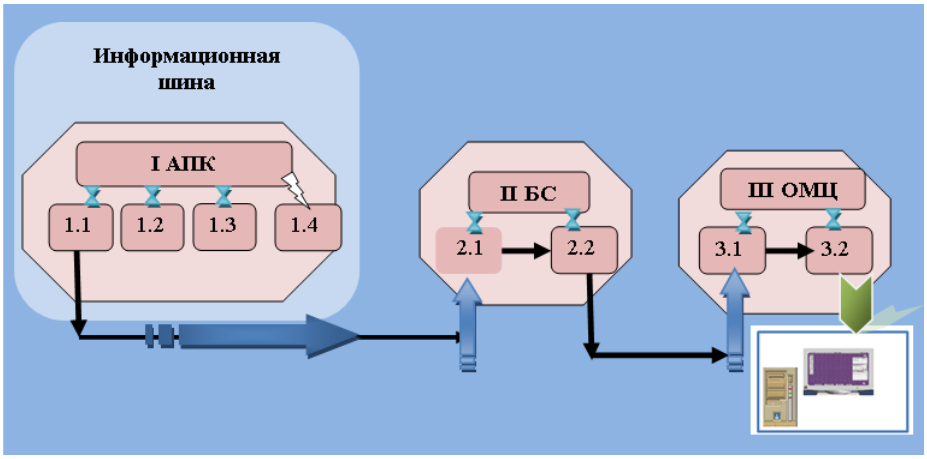


Рис. 3. Сервер по контролю через системы ГЛОНАСС/GPS

Спутниковые системы навигации ГЛОНАСС и GPS включают следующие элементы:

I. Комплекс программных и технических средств, состоящий из специальных датчиков и преобразующей аппаратуры (**I АПК**), а именно:

I.1. Приемники, использующие двухчастотные GPS или ГЛОНАСС.

I.2. Датчики наклона.

I.3. Метеостанция, оснащенная датчиками, которые измеряют и контролируют такие параметры, как температура, атмосферные осадки, давление, относительная влажность, скорость и направление ветра, а также солнечная радиация.

I.4. Радиостанции, станции спутниковой связи и др.

Позиции I.1; I.2; I.3 в целом образуют единую информационную шину данных.

II. Базовые станции (**II БС**), оснащенные:

II.1. Каналообразующей аппаратурой, предназначенной для создания типовых каналов передачи связи.

II.2. ГЛОНАСС- или GPS-приемниками;

III. Объектовой мониторинговый центр **(III ОМЦ**), в который входит:

III.1. Каналообразующая аппаратура.

III.2. Автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста-оператора.

Выходы перечисленных выше средств аппаратно-программного комплекса (**I АПК**) — приемников, использующих двухчастотные GPS или ГЛОНАСС (I.1), датчиков наклона (I.2) и метеостанции (I.3) – соединены соответственно с первым, вторым и третьим входами единой информационной шины данных, выход которой, в свою очередь, посредством каналообразующих средств связи (**I АПК**) соединяется со входом каналообразующих средств связи объектового мониторингового центра **(III ОМЦ**), а ГЛОНАСС- или GPS-приемник, принадлежащий базовой станции, посредством соответствующих каналов связи соединяется с каналообразующими средствами

связи объектового мониторингового центра **(III ОМЦ**), каналообразующие средства связи которого соединяются с АРМ специалиста-оператора.

При разработке системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием BIM-технологий и способа взаимодействия управляющих серверов на примере этапа строительства авторами были использованы некоторые основные положения патентов [18, 19]. Отметим, что схемы организации серверов позволяют повысить качество мониторинга сложных строительных процессов.

В заключение отметим, что предлагаемые разработки относятся к современному этапу развития цифровых технологий применительно к строительной отрасли, и со временем они должны модифицироваться и совершенствоваться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике / С. А. Синягов, В. П. Куприяновский, П. В. Куренков, Д. Е. Намиот, А. В. Степаненко, П. М. Бубнов, В. В. Распопов, С. П. Селезнев, Ю. В. Куприяновская // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. № 5. С. 46—79.

2. Concept of Sustainable Development of the Construction Sector Based on BIM-Technology / С. Г. Абрамян, А. Ю. Барковская, А. Е. Песков, Е. А. Кленина // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1079. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6—9 October 2020, Russky Island, Russia. Vladivostok, 2021. 7 p. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1079/5/052059/pdf.

3. BIM-технологии в строительстве: функции, развитие и опыт применения / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, А. Р. Шаюнусов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2021. Вып. 1(82). С. 323—332.

4. Роль цифровых технологий при строительстве и повышении остаточного ресурса промышленной и строительной продукции / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2020. Вып. 4(81). С. 429—437.

5. *Yuan H. P., Yang Y., Xue X. L.* Promoting owners' BIM adoption behaviors to achieve sustainable project management // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 14. Article Number: 3905. DOI: 10.3390/su11143905.

6. Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings / H. X. Liu, C. Sydora, M. S. Altaf, S. Han, M. Al-Hussein // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 235. Pp. 1189—1201. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.07.055.

7. Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction / R. Santos, A. A. Costa, J. D. Silvestre, L. Pyl // Automation in Construction. 2019. Vol. 103. Pp. 221—234. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.02.022.

8. Устойчивое развитие и инфраструктура: обзор трендов в России и мире. Москва, июнь 2021 года. URL: https://вэб.рф/downloads/spief_sd_short_final_02.05.2021_1.pdf.

9. Bibliometric maps of BIM and BIM in universities: a comparative analysis / M. Chihib, E. Salmeron-Manzano, N. Novas, F. Manzano-Agugliaro // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 16. Article Number: 4398. DOI: 10.3390/su11164398.

10. Building Information Management (BIM) and Blockchain (BC) for Sustainable Building Design Information Management Framework / Z. Liu, L. J. Jiang, M. Osmani, P. Demian // ELECTRONICS. 2019. Vol. 8. Iss. 7. Article Number: 724. DOI: 10.3390/electronics8070724.

11. *Olawumi T. O., Chan D. W. M.* Critical success factors for implementing building information modeling and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey // Sustainable Development. 2019. Vol. 27. Iss. 4. Pp. 587—602. DOI: 10.1002/sd.1925.

12. *Kunieda Y., Codinhoto R., Emmitt S.* Increasing the efficiency and efficacy of demolition through computerised 4D simulation // Engineering Construction and Architectural Management. 2019. Vol. 26. Iss.10. Pp. 2186—2205. DOI: 10.1108/ECAM-11-2018-0492.

13. *Теличенко В. И.* Строительная наука в формировании среды жизнедеятельности // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 98—100.

14. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека / В. А. Ильичев, С. Г. Емельянов, В. И. Колчунов, В. А. Гордон, Н. В.Бакаева. М. : АСВ, 2015. 184 с.

15. *Травуш В. И.* Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 107—117.

16. *Wang H., Pan Y., Luo X. C.* Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: a review and bibliometric analysis // Automation in Construction. 2019. Vol. 103. Pp. 41—52. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.03.005.

17. Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source / J. X. Zhu, X. Y. Wang, P. Wang, Z. Y. Wu, M. J. Kim // Automation in Construction. 2019. Vol. 102. Pp. 105—119. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.02.014.

18. Способ и система информационного моделирования бизнес-процессов жизненного цикла производственного объекта : пат. RU268600C1 Рос. Федерация № 2018118342 ; заявл. 18.05.2018 ; опубл. 23.04.2019. Бюл. № 12 / О. П. Андреев, А. Г. Бочаров, М. Е. Бочаров.

19. Система управления проектами для обеспечения оптимального взаимодействия с цифровыми моделями : пат. RU2016128984A Рос. Федерация № 2016128984 ; заявл. 16.12.2014 ; опубл. 23.01.2018. Бюл. № 03 / А. Лавров, А. Тишин, П. Римакл.

© Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О., 2021

Поступила в редакцию
в июне 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 305—313.

Об авторах:

Абрамян Сусанна Грантовна — канд. техн. наук, доц., проф. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; susannagrant@mail.ru

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, зам. директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ResearcherID: R-4974-2016; ORCID: 0000-0003-1477-2709; info@vgasu.ru

Оганесян Оганес Валерьевич — магистрант, каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; ogoganesyan@mail.ru

Бурлаченко Александр Олегович — магистрант, каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1; a.o.burlachenko@gmail.com

Susanna G. Abramyan, Oleg V. Burlachenko, Oganes V. Oganesyan, Aleksandr O. Burlachenko

Volgograd State Technical University

THE LIFE CYCLE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CAPITAL CONSTRUCTION OBJECTS USING DIGITAL TECHNOLOGIES

The article discusses the importance of digital technologies in ensuring the sustainable development of not only construction production, but also the economy as a whole. It is noted that the use of digital technologies increases the main characteristics of the ecological and economic components of construction, which ultimately leads to a qualitative solution of a number of social problems. Taking into account the main provisions of the concept of introducing a life cycle management sys-

tem for capital construction objects, developed by the Ministry of Construction of the Russian Federation, it is proposed to use a digital classifier of construction information, consisting of constantly and (or) periodically updated digital registers and reference books. The structure of a digital classifier of construction information is presented, its components are briefly described. In tabular form, a list of information models is provided for each stage of the life cycle of a construction system. It is emphasized that the process of creating a system and a method for volumetric information modeling of the life cycle of a construction system must begin with the collection of attributive data. The system itself consists of a primary, secondary and secondary servers. For clarity, the relationship between the main, secondary and secondary servers for the construction stage is presented. An auxiliary server for monitoring through GLONASS/GPS systems is described.

K e y w o r d s: sustainable development, sustainable infrastructure, digital technologies, management system and method, construction information classifier.

For citation:

Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganesyan O. V., Burlachenko A. O. [The life cycle management system for the capital construction objects using digital technologies]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2021, iss. 4, pp. 305—313.

About authors:

Susanna G. Abramyan — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; susannagrant@mail.ru

Oleg V. Burlachenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ResearcherID: R-4974-2016; ORCID: 0000-0003-1477-2709; info@vgasu.ru

Oganes V. Oganesyan — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ogoganesyan@mail.ru

Aleksandr O. Burlachenko — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; a.o.burlachenko@gmail.com

УДК 37.022

С. Н. Торгашина, Т. В. Ерещенко, В. Д. Косовцев, Е. А. Чорнобай

Волгоградский государственный технический университет

СИНЕРГЕТИКА В ПЕДАГОГИКЕ

В науке термин «синергетика» имеет чрезвычайно широкий смысл. Почти во всех гуманитарно-философских словарях синергетика определяется как современная теория самоорганизации, новое мировидение, которое связывается с исследованием феноменов самоорганизации, неравновесности, нелинейности, глобальной эволюции, изучением процессов становления. В широком смысле синергетика означает многовариантность либо альтернативность выбора. В более узком смысле, к примеру в организации процесса деятельности в какой-либо сфере, синергетический подход требует креативной нелинейности, прогнозирования результатов и системности. Что касается внедрения синергетического подхода в систему образования, то здесь он в первую очередь требует сотрудничества участников образовательного процесса. Как показывает анализ, синергетическая концепция может способствовать глубочайшему познанию таких сложных, нелинейных, открытых систем, как общество, различных его подсистем, а также и образования. В итоге для педагогики синергетика начинает выступать как один из методологических принципов, поскольку в рамках целенаправленного сотрудничества в педагогическом процессе как раз и наблюдаются эффекты, которые изучают новой областью познаний.

К л ю ч е в ы е с л о в а: синергетика, синергетический подход, самоорганизация, образовательный процесс, межпредметные связи, методология, познавательные возможности.

Межпредметные связи являются принципиальным условием и результатом всеохватывающего подхода в технологическом обучении студентов [1]. Технологическая деятельность обогащает актуальный опыт, дает им определенный материал, который в будущем употребляется для формирования научных понятий и обобщений, раскрытия научных закономерностей.

Межпредметные связи в обучении являются определенным выражением интеграционных действий, которые происходят сейчас в науке и в жизни общества. Эти связи играют главную роль в увеличении практической и научно-теоретической подготовки обучающихся [2]. При помощи многосторонних межпредметных связей закладывается фундамент для всеохватывающего видения, подхода к решению трудных вопросов текущей реальности.

В согласовании с методологией синергетики перемены в содержании и организации образования нацелены на поиск новых методов, способов обучения, опирающихся на самостоятельную познавательную активность, направленную на приобретение возможности обработки информации, хода мысли, а также активизации познавательного процесса.

Наличие междисциплинарных связей — необходимое условие формирования компетенций и улучшения всего образовательного процесса. Поэтому нужно при любой возможности устанавливать межпредметные связи между дисциплинами, в особенности между дисциплинами естественно-научного и профессионального циклов.

Синергетика представляет собой науку, изучающую основные законы самоорганизации сложных систем. В нее входят такие области, как нелинейная динамика, детерминированность, хаос, фракталы, катастрофы, бифуркации,

волны, полевые эффекты и т. д. [3]. Растущая в наше время популярность синергетики объясняется тем, что она становится языком междисциплинарного общения, понятным для специалистов в области математики, физики, химики, биологи, психологи и других наук, хотя каждый понимает синергетические модели по-своему.

Имея в качестве главного объекта исследования прямоугольное проецирование, аксонометрические проекции, предмет «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» применяет элементы познаний из остальных дисциплин для осознания и демонстрации собственных положений, теорий и т. п. [4]. Элементы содержания остальных учебных дисциплин, которые характеризуют какую-либо реальность с других позиций, могут стать основой для параллельного рассмотрения действительности, для создания интегрированных курсов. Например, «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» (черчение + математика + информационные технологии). Пространственное зрение начинается с перевоплощения плоскостного восприятия в глубинное. К двум воспринимаемым измерениям, в высоту и в ширину, добавляется третье — вдаль. В пространственном зрении на плоскости существенная роль принадлежит аккомодации и конвергенции глаза. К данному виду восприятия относят осознание величины, объемности, формы, удаленности, расстояния между предметами, рельефа предмета, местности и др. Чтобы сформировать пространственное воображение, нужно опираться на предметно-пространственную форму осознания реальности и умение рассматривать пространственные характеристики и отношения реальных объектов к их графическому изображению [5]. Дисциплина «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» изучается студентами на первом курсе. Целью дисциплины является развитие общепрофессиональных, инструментальных компетенций, связанных с умением оценивать графо-геометрическую документацию. Анализ конструкции предмета с последующим трехмерным изображением невозможен без понимания его формообразования [6].

Организация и осуществление учебно-познавательной деятельности включает в себя следующие методы:

1) по источнику изложения учебного материала — словесные, наглядные, практические;

2) по характеру учебно-познавательной деятельности — репродуктивные, объяснительно-иллюстративные, алгоритмические, проблемные, исследовательские и др.;

3) по логике изучения учебного материала — индуктивные, дедуктивные и комплексные [7].

Для выяснения зависимости успешности усвоения дисциплин графического профиля и реализации методов учебно-познавательной деятельности от межпредметных связей, реализуемых в образовательных учреждениях, авторами статьи проводилось тестирование среди представителей двух категорий студентов первого курса:

1) студенты, изучающие дисциплины «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», «Информационные технологии», «Математика» в первом семестре;

2) студенты, изучающие дисциплины «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» и «Математика» в первом семестре, а «Информационные технологии» — во втором.

При тестировании требовалось определить натуральную величину угла при ребре *SK* пирамиды.

С точки зрения начертательной геометрии сущность метода заключается в том, что объект не меняет своего положения в пространстве, а плоскость меняет. Для этого вводим новую горизонтальную плоскость П5 параллельно ребру *SK*, чтобы найти натуральную величину ребер [8, 9]. Для этого берем расстояние с горизонтальной плоскости проекций (расстояние от новой точки до новой оси равно расстоянию от заменяемой точки до заменяемой оси) (рис. 1).

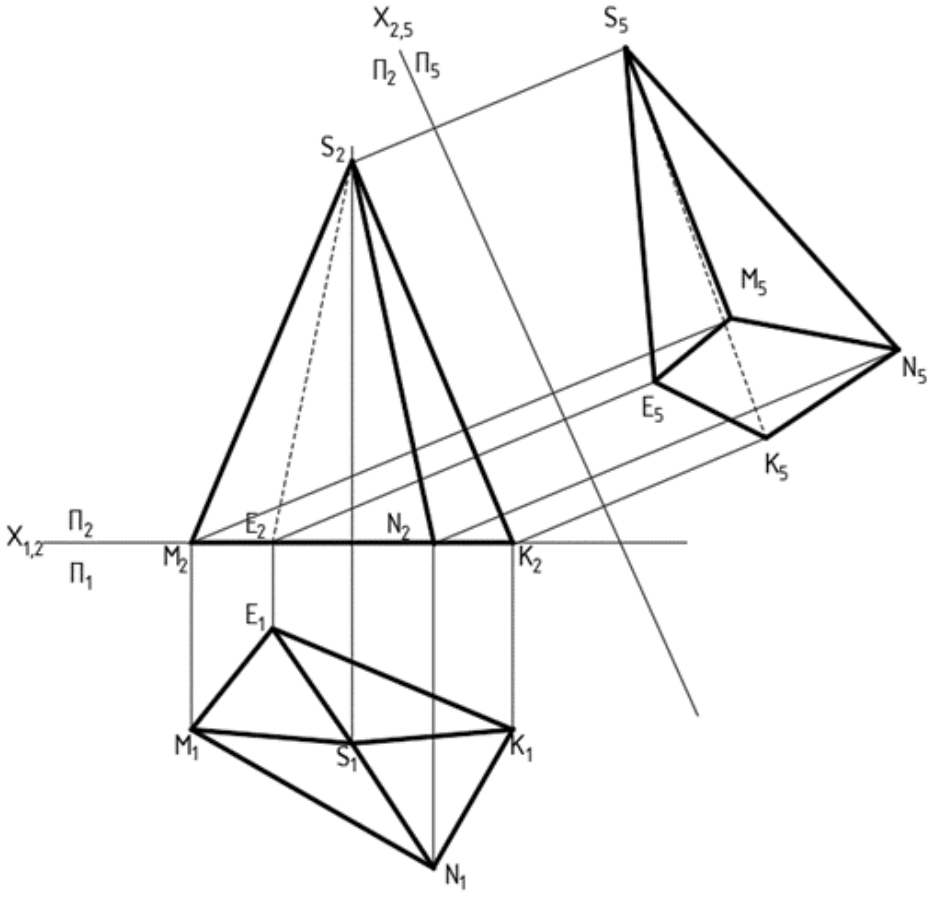


Рис. 1. Натуральная величина ребра

Далее преобразуем плоскость так, чтобы она стала фронтально-проецирующей плоскостью и ее проекция обладала собирательным свойством. Таким образом, получаем натуральную величину угла при ребре пирамиды, которая равна 67° (рис. 2).

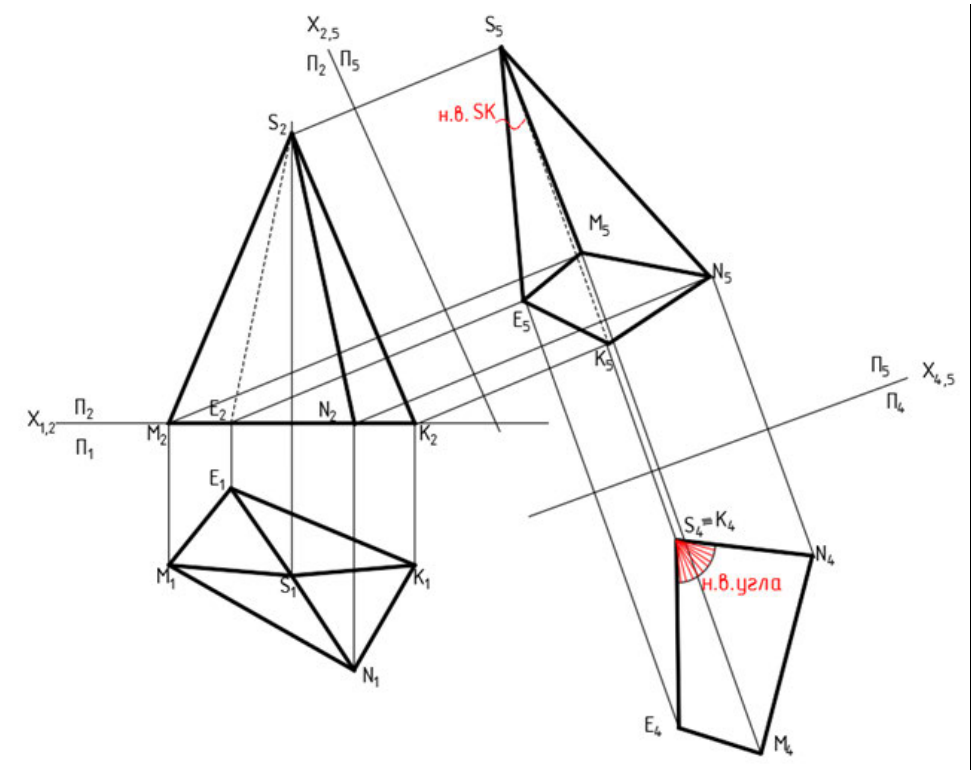


Рис. 2. Натуральная величина угла

С точки зрения математики задача сводится к нахождению угла между прямой *SK* и плоскостью *MNKE*. Углом между прямой и плоскостью называют острый угол между прямой и ее проекцией на плоскость [10]. Уравнение плоскости *MNK* получаем, раскрывая определитель по первой строке:

$$\begin{vmatrix} x-x_M & y-y_M & z-z_M \\ x_N-x_M & y_N-y_M & z_N-z_M \\ x_K-x_M & y_K-y_M & z_K-z_M \end{vmatrix} = 0.$$

Получаем уравнение плоскости $z = 0$.

В качестве направляющего вектора прямой *SK* выбираем вектор

$$\vec{s}(x_K - x_S; y_K - y_S; z_K - z_S).$$

Подставляем полученные значения в расчетную формулу

$$\sin(\varphi) = \frac{\vec{N} \cdot \vec{s}}{\left|\vec{N}\right| \cdot \left|\vec{s}\right|},$$

получаем $\varphi = 67°$.

Все расчеты при этом проводятся в среде Mathcad [11, 12].

После тестирования нами был подсчитан процент справившихся с заданием студентов по категориям (табл. 1).

Таблица 1

Результаты теста

№ теста	I категория	II категория
1	86,00 %	84,95 %

Результаты тестирования показали, что в связи с тем, что указанные дисциплины изучаются в одном семестре, студенты могут лучше и глубже изучить и закрепить данный учебный материал.

Особое место здесь занимает дисциплина «Информатика»: и потому, что это прикладная дисциплина, и потому, что информационная культура — необходимая составляющая не только общей и профессиональной компетентности будущего специалиста, но и общей культуры современного человека.

Необходимость повышения качества графического образования диктуется не только внедрением в создание современных технологий, но и ролью графики в развитии познавательных возможностей обучающихся [13]. Развитое воображение необходимо каждому человеку, который в профессиональной сфере должен на уровне мыслей представлять результаты собственных действий и вероятные варианты развития событий. Воображение является одним из актуально принципиальных свойств, наличие которого учитывается во время профессионального отбора при трудоустройстве. Совокупное знание является всеобщей основой деятельности [14].

Результаты использования межпредметных связей (табл. 2):

1) содействуют развитию научного стиля мышления студентов;

2) дают возможность широкого внедрения естественно-научного способа познания;

3) увеличивают качество познаний студентов;

4) повышают и развивают интерес студента к дисциплинам естественно-математического цикла.

Таблица 2

Межпредметные связи

Тема	Применение	Связь с предметами
1. Единицы измерения информации	Задачи подсчета количества информации, кодирования текстовой, графической, звуковой информации, скорость передачи информации через интернет-соединение и т. д.	Алгебра, физика, геометрия, музыка, ИЗО (графика), биология (свойства информации)
2. Логика и логические операции	Задачи, связанные с логикой и логическими операциями: дизъюнкция, конъюнкция, инверсия, импликация и др.	Математика, теория вероятности, алгебра логики
3. Графические редакторы	Задачи, связанные с координатной плоскостью, подсчетом количества и кодированием графической информации и т. п.	Математика, геометрия, ИЗО (графика), история, география, физика
4. Алгоритмизация и программирование	Создание программ по линейному, разветвляющемуся, циклическому алгоритму, построению графика функций, нахождению максимальных и минимальных элементов в массивах и т. д.	Физика, геометрия, география, биология и др.

На базе синергетики возможно также сближение гуманитарного и естественно-научного образования. Гуманитарное образование все больше математизируется. Современный этап развития математики как учебного предмета характеризуется: жестким отбором основ содержания; четким определением конкретных целей преподавания и межпредметных связей [15]. Внедрение компьютерных программ, визуализирующих синергетические познания, — это реальный путь для гуманитариев усвоить глубокие по содержанию понятия и мысли, которые охватывает математическая и физическая наука, вовлечь в оборот собственного мышления принципиальные мировоззренческие следствия и заключения из сложных аналитико-математических расчетов и математического моделирования процессов образования.

На основании всего вышесказанного предлагаем следующие возможные мероприятия по повышению уровня знаний обучающихся:

1. Переход от внутрипредметных связей к межпредметным. При всем этом следует помнить, что этот переход вероятен лишь при наличии определенной базы познания внутрипредметных связей, в ином случае перенос может быть поверхностным и механическим.

2. Повышение доли сложных ситуаций в структуре интеграции дисциплин.

Почти все специалисты и научные работники придерживаются мнения, что синергетика подразумевает отказ от педагогических способов, которые были основаны на ограничении действий обучающихся в пользу самоорганизованного процесса обучения путем создания образовательных технологий, органично сочетающих различные педагогические подходы [16]. Однако, по нашему мнению, синергетический подход можно адаптировать не только к другим интерактивным педагогическим методам. Он должен использовать достижения традиционной формы обучения, дополняя ее.

Итак, в образовательном процессе синергетические педагогические технологии являются гарантами обеспечения многовариантности. Синергетическое обучение предоставляет каждому студенту возможность самостоятельного и неординарного движения к успеху путем создания условий для выбора и альтернативы. Студент начинает понимать себя, свои возможности, интересы, сильные и слабые стороны, таланты и жизненные приоритеты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Виненко В. Г.* Системно-синергетическое моделирование в непрерывном образовании педагога : дис. ... д-ра пед. наук. Саратов, 2001. 322 с.

2. *Ворожбитова А. А.* Синергетический аспект вузовского образования в свете лингвориторического подхода // Вестн. высш. шк. 1999. № 2. С. 22—26.

3. *Болбат О. Б.* Формирование профессионально значимых качеств при изучении инженерной графики в образовательной системе школа-вуз : дис. ... канд. пед. наук. Новосибирск : СГУПС, 2002. 209 с.

4. *Игнатова В. А.* Педагогические аспекты синергетики // Педагогика. 2001. № 8. С. 26—31.

5. *Гузненков В. Н.* Геометро-графическая подготовка в техническом университете // Рос. науч. журн. 2013. № 6. С. 159—166.

6. *Вольхин К. А., Пак Н. И.* О состоянии графической подготовки учащихся в школе с позиции информационного подхода // Вестн. КГПУ им. В. П. Астафьева. 2011. № 3(17). С. 74—78.

7. Teaching Languages with Computers. The State of the Art / Ed. by M. Pennington. La Jolla Ca., 1989.

8. Anoverview of the basic principles of the Q-coder adaptive binary arithmetic coder / W. B. Penne-baker, J. L. Mitchell, G. G. Langdon, R. B. Arps // IBM Journal of research and development. 1988. Vol. 32. No. 6. Pp. 771—726.

9. *Kiryanov D.* The Mathcad 2001i. Handbook. Charles River Media, 2003. 729 c.

10. *Беклемишев Д. В.* Курс аналитической геометрии и линейной алгебры : учеб. 17-е изд., стер. СПб. : Лань, 2020. С. 72—73.

11. *Hopf E.* A mathematical example displaying the features of turbulence // Comm. Pure Appl. Math. 1948. Vol. 1. Pp. 303—322.

12. *Meriam J. L., Kraige L. G.* Solving Statics Problems with MathCAD. Wiley, 2001. 128 p.

13. Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях ФГОС ВПО : материалы 2-й Междунар. науч.-практ. интернет-конф., Пермь, февр. — март 2011 г. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2011. 322 с.

14. *Минченков Е. Е.* Практическая дидактика в преподавании естественнонаучных дисциплин : учеб. пособие. 3-е изд., стер. СПб. : Лань, 2020. С. 38.

15. *Темербекова А. А., Чугунова И. В., Байгонакова Г. А.* Методика обучения математике : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2015. С. 23.

16. *Дьяконов В. П.* VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование : рук. М. : СОЛОН-Пресс, 2008. 384 с

© Торгашина С. Н., Ерещенко Т. В., Косовцев В. Д., Чорнобай Е. А., 2021

Поступила в редакцию
в октябре 2021 г.

Ссылка для цитирования:

Торгашина С. Н., Ерещенко Т. В., Косовцев В. Д., Чорнобай Е. А. Синергетика в педагогике // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 314—321.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Ерещенко Татьяна Владимировна — канд. техн. наук, доц. каф. цифровой экономики и технологий управления в городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1; info@vgasu.ru

Косовцев Вадим Дмитриевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Vadim.kosovvv@mail.ru

Чорнобай Ева Алексеевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; evakoroleva13@yandex.ru

Svetlana N. Torgashina, Tatiana V. Ereshchenko, Vadim D. Kosovtsev, Eva A. Chornobay

Volgograd State Technical University

SYNERGY IN PEDAGOGY

In science, the term synergy has an extremely broad meaning. In almost all humanitarian and philosophical dictionaries, synergy is defined as the modern theory of self-organization, a new worldview that is associated with the study of the phenomena of self-organization, non-equilibrium, neural, global evolution, and the study of formation processes. As a result, in a broad sense, synergy

means multivariability or alternatives to choice. And in a narrower sense, for example, in organizing the process of activity in a sphere, a synergistic approach requires creative nonlinearity, forecasting results and systematics. With regard to the introduction of a synergistic approach in the education system, it primarily required cooperation among participants in the educational process. As the analysis shows, the synergistic concept can contribute to the deepest knowledge of such complex, nonlinear, open systems as society, its various subsystems, as well as education. As a result, for pedagogy, synergy begins to act as one of the methodological principles, since within the framework of focused cooperation in the pedagogical process, the effects that study the new field of knowledge are observed.

K e y w o r d s: synergy, synergistic approach, self-organization, educational process, inter-object relations, methodology, knowledge opportunities.

For citation:

Torgashina S. N., Ereshchenko T. V., Kosovtsev V. D., Chornobay E. A. [Synergy in pedagogy]. *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], 2021, iss. 4, pp. 314—321.

About authors:

Svetlana N. Torgashina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Tatiana V. Ereshchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Digital Economy and Urban Management Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Vadim D. Kosovtsev — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Vadim.kosovvv@mail.ru

Eva A. Chornobay — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; evakoroleva13@yandex.ru

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» ***включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.***

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-oformleniyu/), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/trebovaniya-k-oformleniyu/), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале, а рецензия, кроме того, в отсканированном виде.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: ORCID, ScopusID (при наличии); *индекс УДК;* на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — 8—12 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office* (*Word 2003*); шрифт *основного текста* — Times New Roman (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. Редколлегией приветствуется цитирование журнала. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке

упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи направляются редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и публикуются только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору по требованию.

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 ВолгГТУ **http://vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/sia** (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: **400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 715а** (ответственный секретарь журнала Растяпина Оксана Анатольевна). vestnik_volgasy@mail.ru

Уточнить ***условия публикации статей и приобретения*** очередного номера журнала можно у нее же.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу*:* 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

Уважаемые читатели и авторы!
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Е.В. Карчагину по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, **утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолгГТУ по адресу:
https://vgasu.ru/nauka/zhurnaly/vestnik-volggasu/seriya-stroitelstvo-i-arkhitektura/

Научное издание

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура
2021. Выпуск 4(85)

Корректор *Н. Э. Ситникова*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 25.01.2022. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная
Уч.-изд. л. 13,0. Усл. печ. л. 28,3. Тираж 500 экз. Заказ № 222

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Типография ИАиС
Адрес издателя: 400005, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 28
Адрес типографии: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1